

本資料のうち、枠囲みの内容は、機密事項に属しますので公開できません。

柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料	
資料番号	KK7補足-028-03 改5
提出年月日	2020年 7月 14日

耐震評価における等価繰返し回数について

2020年7月

東京電力ホールディングス株式会社

柏崎刈羽 7 号機 耐震評価における等価繰返し回数について

(目次)

1.	はじめに	1
2.	柏崎刈羽 7 号機の耐震評価における疲労評価と等価繰返し回数.....	2
3.	一律に設定する地震等価繰返し回数の設定について	4
(1)	算出方法.....	4
(2)	一律に設定する等価繰返し回数の算出パラメータの設定の考え方.....	11
(3)	算出結果.....	16
(4)	弾性設計用地震動 S_d の等価繰返し回数について	18
(5)	結果まとめ	19
4.	個別に設定する等価繰返し回数の設定について	20
(1)	対象設備.....	20
(2)	個別に設定する等価繰返し回数設定方針.....	20
(3)	算出結果.....	21
5.	まとめ	25
別紙		
I.	等価繰返し回数の算出結果 (基本ケース)	27
II.	材料物性の不確かさ等を考慮する場合の条件	79
III.	等価繰返し回数の算出結果 (材料物性の不確かさ等の考慮)	86
IV.	等価繰返し回数の算出位置	93
(補足)		
補足 1	ピーク応力法における各ピークのサイクル数の求め方	108
補足 2	等価繰返し回数算出プログラムについて.....	109
補足 3	疲労評価の対象設備及び部位毎のピーク応力	128
補足 4	ピーク応力の算出方法について	130
補足 5	多方向入力を対象とした等価繰返し回数算定方法について.....	133
補足 6	柏崎刈羽 7 号機 等価繰返し回数の保守性について	147
補足 7	ピーク応力の大きさと等価繰返し回数の関係について.....	165
補足 8	等価繰返し回数の算出に用いる地震動の考え方について	167

1. はじめに

柏崎刈羽 7 号機の今回工認における耐震評価の疲労評価は、J E A G 4 6 0 1-1987（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）の記載手順※に従い、等価繰返し回数を用いた評価を行っている。疲労評価は、応力振幅と繰返し回数の情報が必要となるため、本来は設備の応力時刻歴が必要となるが、最大応力値のみを用いて保守側に疲れ累積係数 U F を評価できるよう設定した等価繰返し回数を設定することで、評価の簡便化を図っている。V-2-1-9「機能維持の基本方針」で記載しているとおおり、柏崎刈羽 7 号機の疲労評価に用いる等価繰返し回数は、個別に設定する値又は一律に設定する値（S s : 200 回，S d : 200 回）を用いている。

なお、建設時は、S 1，S 2 地震動による検討を行い、等価繰返し回数（S 1 : 60 回，S 2 : 60 回）を設定している。

本図書では疲労評価に用いる等価繰返し回数の設定について説明する。

※ J E A G 4 6 0 1 p574 より抜粋

疲れ解析は、1 次 + 2 次 + ピーク応力より疲れ累積係数を求めて評価するが、この手法には、地震動の等価繰返し回数を用いる方法あるいは機器の時刻歴応答から応力振幅の大きさの頻度分布を直接求める方法がある。

なお、地震動の等価繰返し数を求める場合にはピーク応力法あるいはエネルギー換算法が用いられている。

ここで「疲れ累積係数」とは、各応力サイクルにおける実際の繰返し回数と繰返しピーク応力強さに対応する許容繰返し回数との比をすべての応力サイクルについて加えたものをいう。

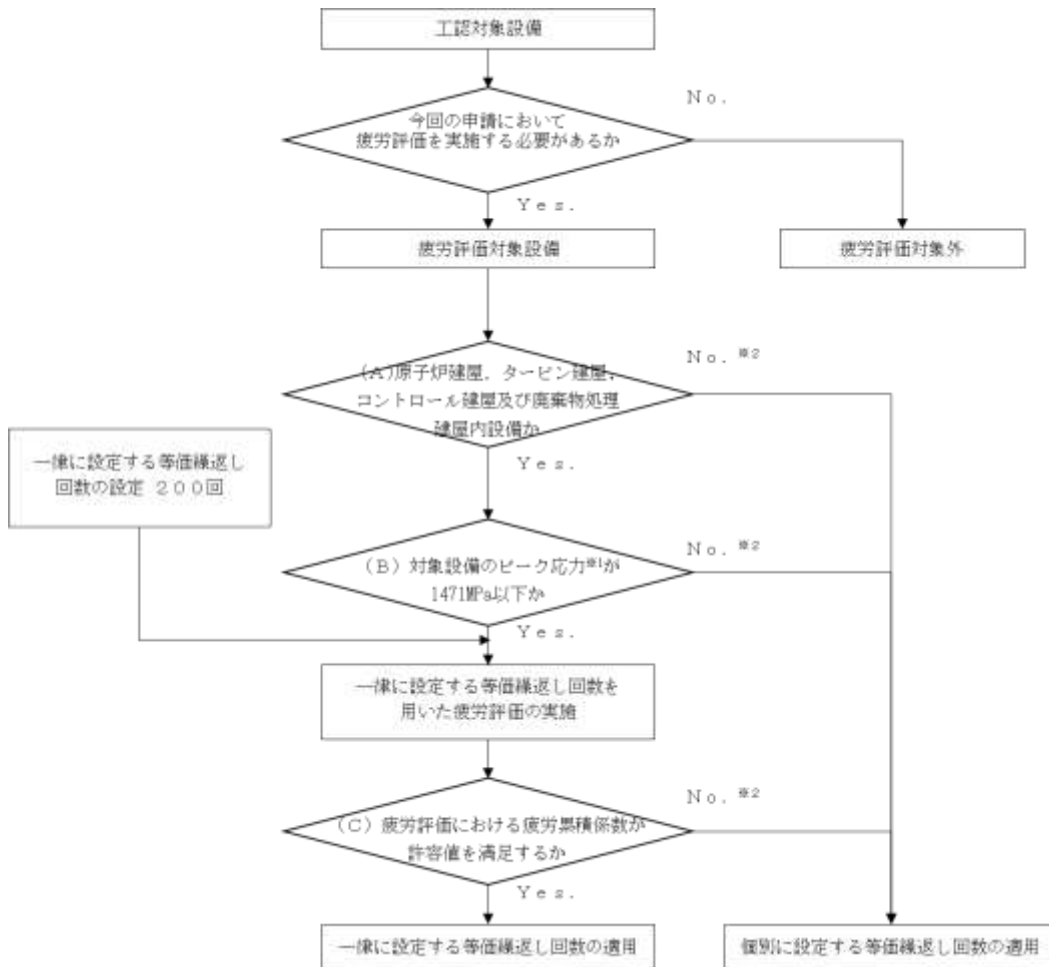
2. 柏崎刈羽 7 号機の耐震評価における疲労評価と等価繰返し回数

柏崎刈羽 7 号機の耐震評価における疲労評価は、J E A G 4 6 0 1 記載の手順のうち、等価繰返し回数を用いた評価を採用している。等価繰返し回数は建設時と同じピーク応力法による算出結果に基づき、一律に設定する値又は個別に設定する値を用いている。

一律に設定する値と、個別に設定する値の使い分けフローを図 2-1 に示す。ここで、フロー中の疲労評価対象設備は、工認耐震計算書対象とする設備・部位のうち、疲労評価を実施するものとしている。

一律に設定する値又は個別に設定する値の使い分けは以下 3 点がある。

- 一律に設定する等価繰返し回数を用いるのは原子炉建屋, タービン建屋, コントロール建屋及び廃棄物処理建屋内の疲労評価対象設備とする。これらの建屋以外に設置される疲労評価対象設備は、個別に設定する等価繰返し回数を用いる (図 2-1 の (A))。
- 一律に設定する等価繰返し回数は、疲労評価対象設備に発生するピーク応力が 1471MPa 以下となる疲労評価対象設備に用いる。1471MPa を超える疲労評価対象設備は個別に設定する値を用いる (図 2-1 の (B))。
- 一律に設定する等価繰返し回数を用いた疲労評価が許容値 (疲れ累積係数が 1 以下) を満足しない疲労評価対象設備については、個別に設定する等価繰返し回数を用いる (図 2-1 の (C))。



※1 疲労評価対象設備のピーク応力は、補足3参照。

※2 該当する疲労評価対象設備は4.参照。

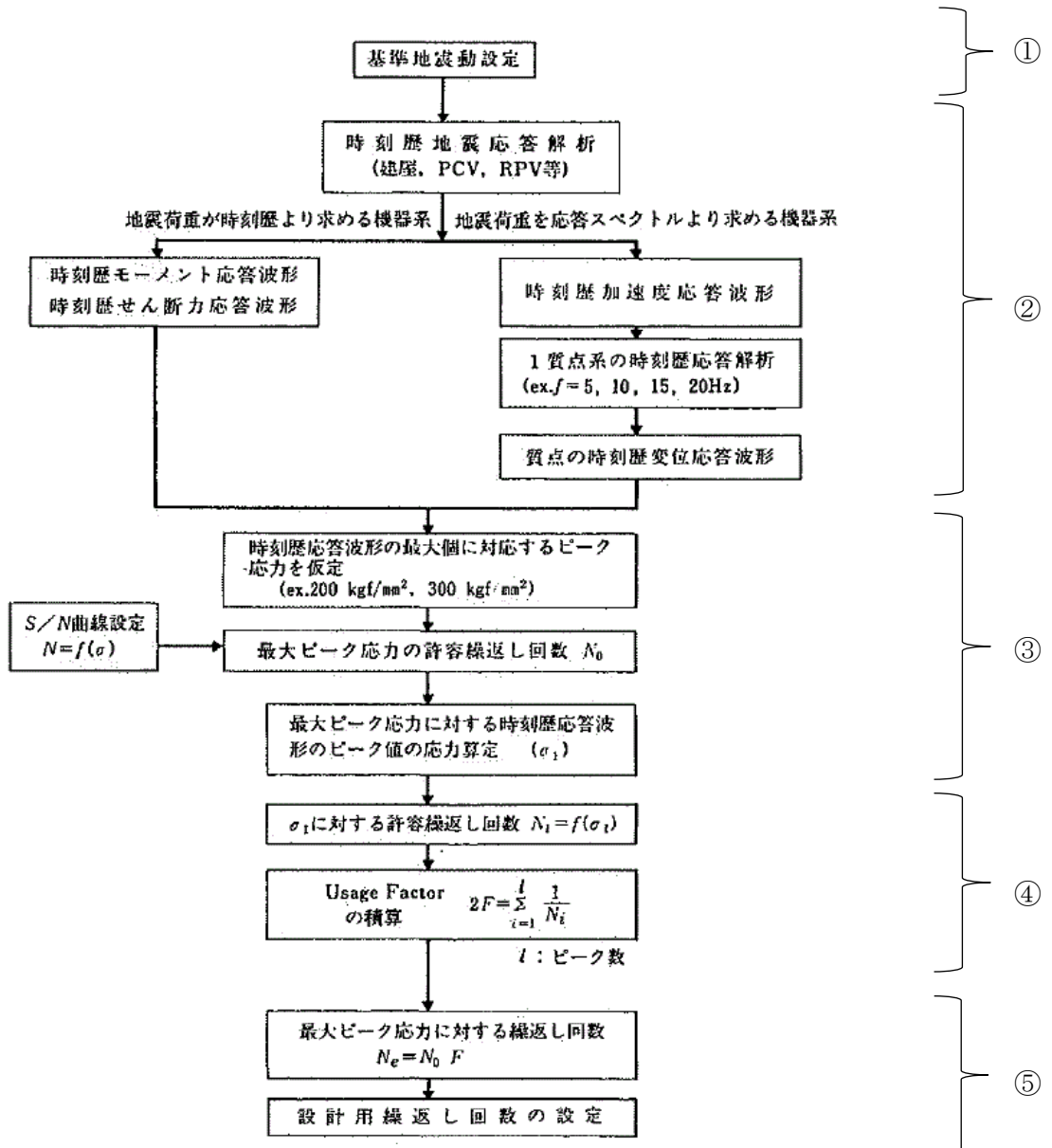
図2-1 適用する等価繰返し回数の使い分け

3. 一律に設定する地震等価繰返し回数の設定について

(1) 算出方法

柏崎刈羽7号機のピーク応力法による等価繰返し回数算出方法の手順を、J E A G 4 6 0 1 に記載されたピーク応力法による算出フロー（図3.（1）-1、以下「フロー」という。）との対比で説明する。また、柏崎刈羽7号機の建設時と今回工認の算出条件の比較を表3.（1）-1 に示す。

次頁以降に具体的な手順を示す。①～⑤の手順はフロー中の番号に対応している。



(J E A G 4 6 0 1 p576 に加筆)

図3.（1）-1 ピーク応力法による算出フロー

① 地震動の設定

柏崎刈羽7号機の一律に設定する等価繰返し回数の設定に用いる地震動として、基準地震動 S_s に以下の考慮を行う（3.（2）参照）。

○柏崎刈羽原子力発電所は2007年に発生した新潟県中越沖地震（以下「NCO」という。）を被災していることから、本地震動を考慮する。

○米国の知見（SRP3.7.3Rev.4）を参考に、弾性設計用地震動 S_d の1/3倍の地震動5回分を考慮する。

② 時刻歴波形の設定

等価繰返し回数の算出に用いる時刻歴波形は、地震荷重を時刻歴より求める機器系の場合（左側のフロー（以下「時刻歴フロー」という。））と、地震荷重を応答スペクトルより求める機器系の場合（右側のフロー（以下「応答スペクトルフロー」という。））の2種類の方法で設定する。

時刻歴フローでは、大型機器系及び炉内構造物系の地震応答解析（フローでは「時刻歴地震応答解析」と記載）から求めた時刻歴モーメント応答波形、時刻歴せん断力応答波形及び時刻歴軸力応答波形を用いる。

応答スペクトルフローでは、各建屋の地震応答解析、大型機器系及び炉内構造物系の地震応答解析から求めた時刻歴加速度応答波形を入力とした固有振動数 f の1質点系モデルの時刻歴変位応答波形を用いる。この時刻歴変位応答波形は、固有振動数全て(1~20Hz)に対して算出する。

③ 時刻歴ピーク応力値の設定

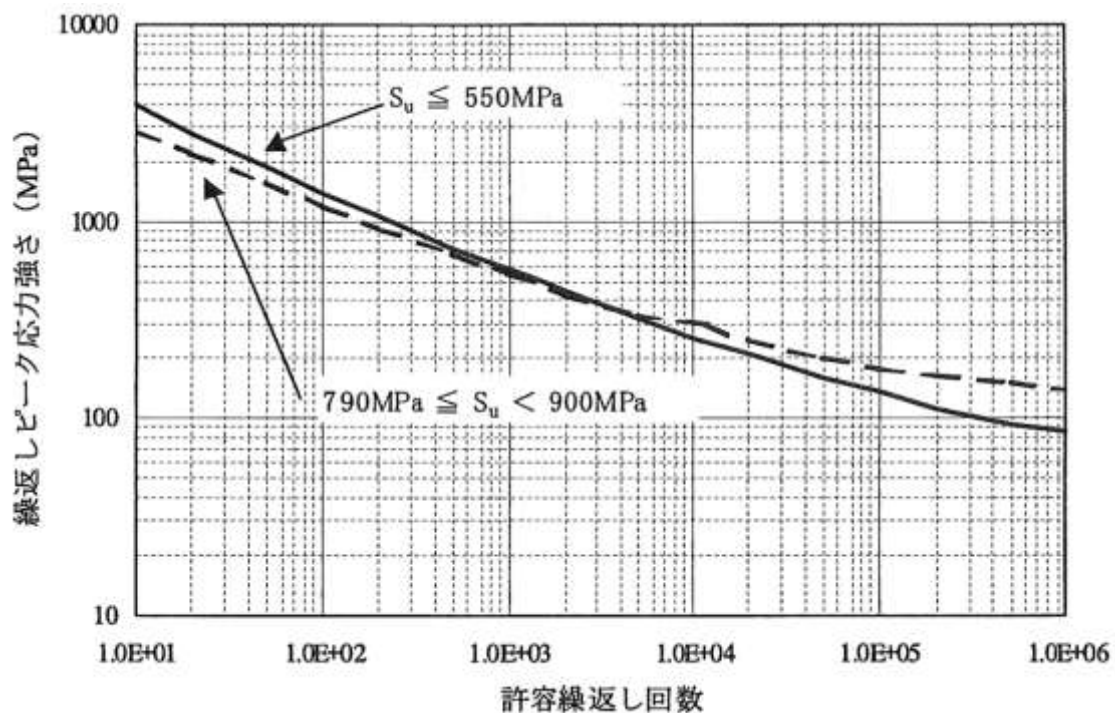
疲労評価対象設備に発生するピーク応力の最大値をフロー②で求めた時刻歴波形の最大値とすることで、応力の時刻歴波形を作成する。フロー③の「時刻歴応答波形の最大値に対するピーク応力を仮定」とは、疲労評価対象設備のピーク応力ではなく、疲労評価対象設備全てのピーク応力の最大値を時刻歴波形の最大値とすることに対応している。また、実際の多質点系モデルの場合、ピーク応力は各モードの重ね合わせの結果として算出されるものであり、必ずしも波形の最大値がピーク応力になるとは限らないが、フロー③では多質点系モデルの場合においても波形の最大値がピーク応力であることを指している。

ここで、柏崎刈羽7号機における等価繰返し回数設定に用いるピーク応力は、1471MPa※を用いており、疲労評価対象設備のピーク応力が1471MPaを超える場合は個別に設定を行う。

※：「昭55年度 耐震設計の標準化に関する調査報告書」にて十分とされている値(150kg/mm²)を単位換算した値。

④ 疲れ累積係数UF (Usage Factor) の算出

図3.(1)-2に示すJ S ME設計・建設規格に記載される設計疲労線図を用い、応力時刻歴波形に対して各時刻歴振幅に対する許容繰返し回数を算出する。なお、時刻歴振幅とそれが何回繰返されるか(ピークのサイクル数)の算出方法はレインフロー法を用いる(補足1参照)。



(J S ME設計・建設規格より抜粋)

図3.(1)-2 炭素鋼, 低合金鋼及び高張力鋼の設計疲労線図

各応力時刻歴波の振幅に対する許容繰返し回数と、ピークのサイクル数からUFを算出する（図3.（1）-3参照）。

$$UF = \frac{n_0}{N_0} + \frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} \dots$$

n_i : 各ピークのサイクル数

N_i : 各ピークに対する許容繰返し回数

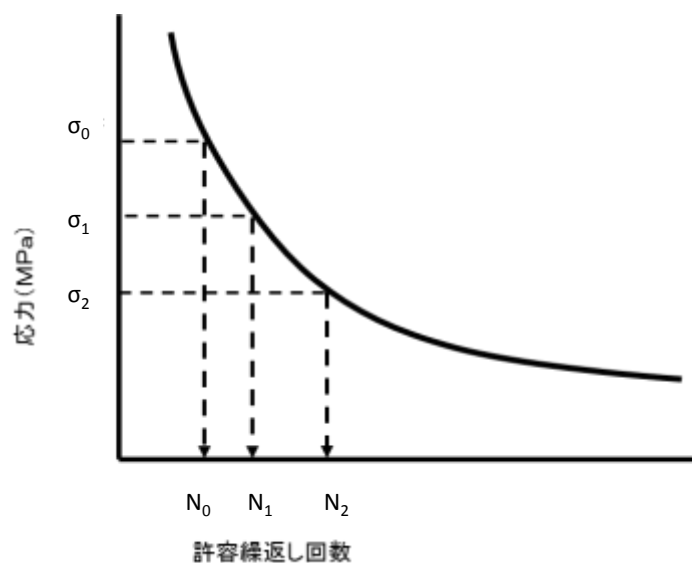
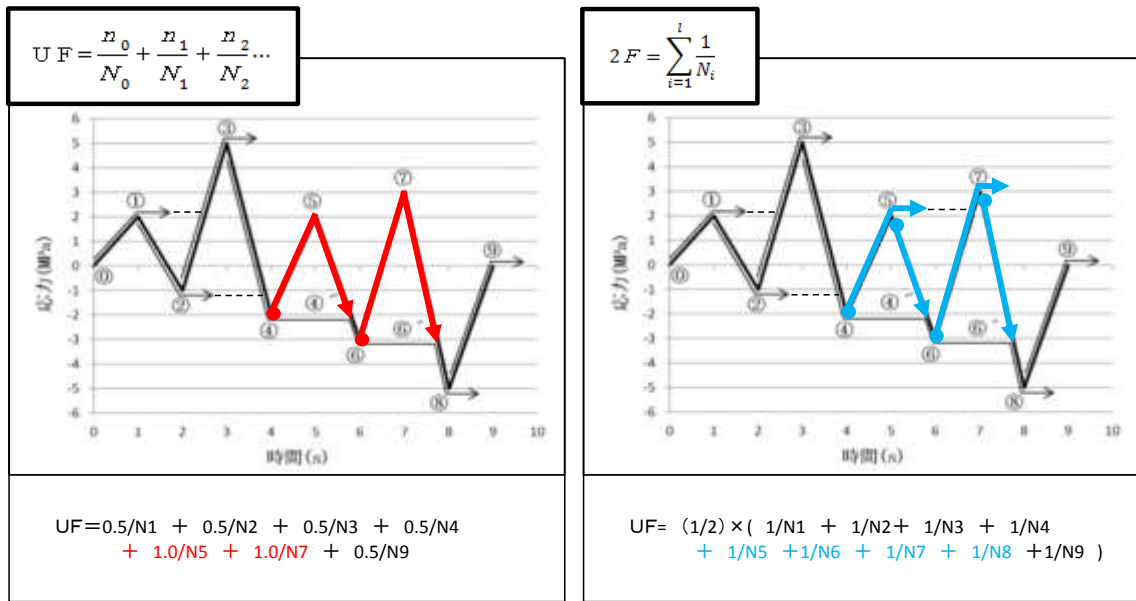


図3.（1）-3 UF算出方法

注記：上式では、片振りのピーク点を0.5サイクル、両振りのピーク点を1サイクルとしてUFを算出可能な式であることに対して、図3.（1）-1フローにおけるUFの積算式（ $2F = \sum_{i=1}^l \frac{1}{N_i}$ ）は各ピーク点を0.5サイクルとしてサイクル数をカウントすることを前提とした式であるため、係数に相違がある（図3.（1）-4参照）。



ピーク点		ピーク応力 σ_i (MPa)	σ_i に対する 許容繰返し回数 N_i (回)
START	END		
①	②	σ_1	N_1
②	③	σ_2	N_2
③	⑧	σ_3	N_3
④	⑤	σ_4	N_4
⑤	④'	σ_5	N_5
⑥	⑦	σ_6	N_6
⑦	⑥'	σ_7	N_7
⑧	⑨	σ_8	N_8
⑨	⑩	σ_9	N_9

(※) : ⑤⇒④' での σ_i および N_i は ④⇒⑤での σ_i および N_i と等しい。
 (※※) : ⑦⇒⑥' での σ_i および N_i は ⑥⇒⑦での σ_i および N_i と等しい。

図 3. (1) - 4 疲れ累積係数UFの積算方法の違いの概念図

⑤ 等価繰返し回数 N_e の算出

フロー④で算出したUFとフロー③より求められる最大ピーク応力に対する許容繰返し回数 N_0 から、下式により、等価繰返し回数 N_e を求める。

$$N_e = UF \times N_0$$

以上を踏まえ、柏崎刈羽7号機の等価繰返し回数の算出方法を図3.(1)-5に示す。

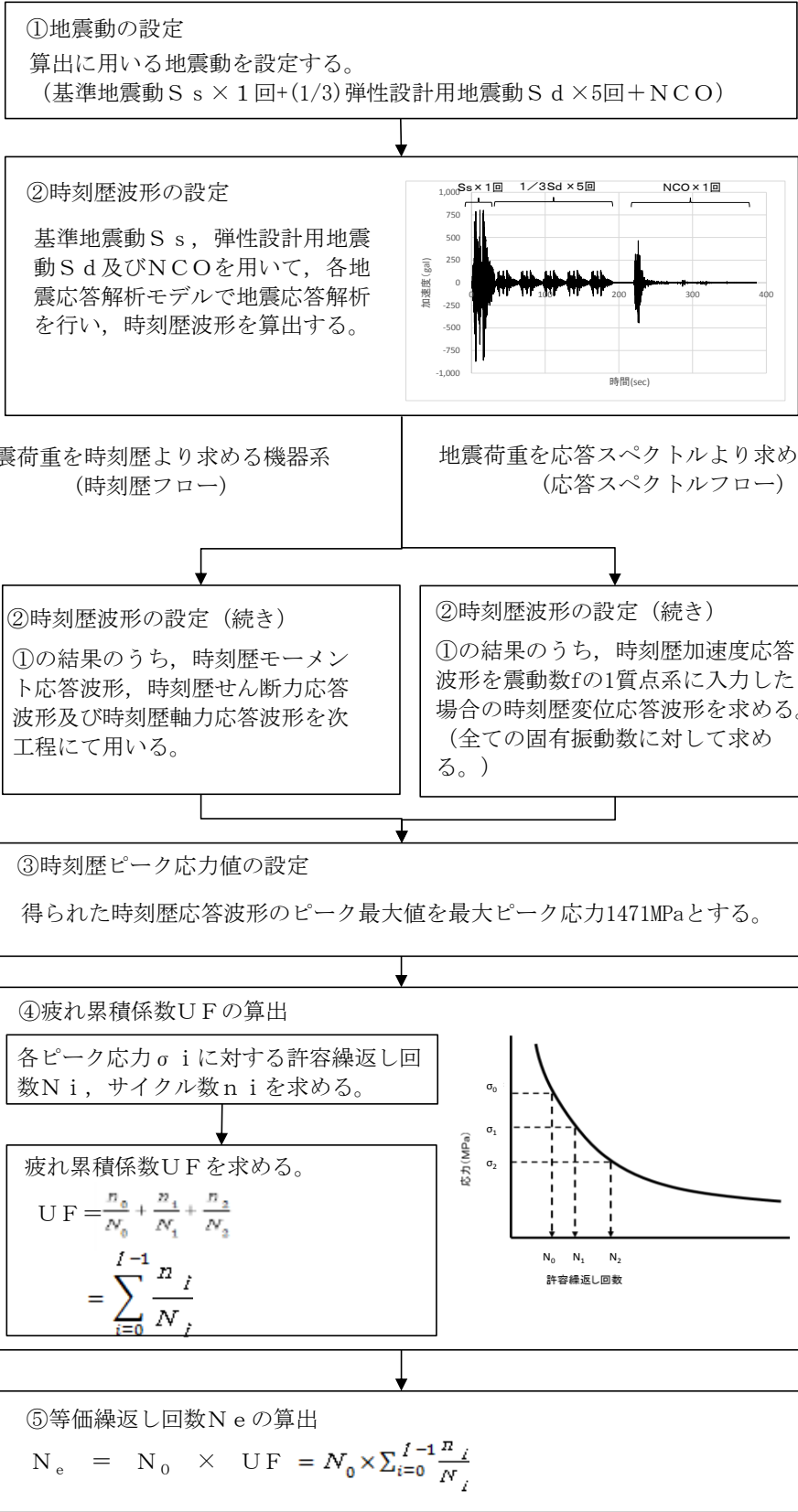


図3. (1) - 5 等価繰返し回数の算出方法

表 3. (1) - 1 柏崎刈羽 7 号機における一律に設定する等価繰返し回数の建設時と今回工認の算出条件の比較

		建設時		今回工認	
		耐震評価に地震応答解析から算出されるモーメントを用いる設備	耐震評価に床応答を入力とした 1 質点系モデルによる応答を用いる設備	耐震評価に地震応答解析から算出されるせん断力, モーメント, 軸力を用いる設備	耐震評価に床応答を入力とした 1 質点系モデルによる応答を用いる設備
算出方法 (J E A G 4601 のフローの左右どちらか)		時刻歴解析より算出される時刻歴モーメントを用いた算出方法 (時刻歴フロー)	建屋床応答を入力とした 1 質点系モデルによる応答時刻歴を用いた算出方法 (応答スペクトルフロー)	建設時と同様	建設時と同様
回数算出に用いる応答時刻歴波	波形	時刻歴モーメント波形	変位応答時刻歴波形	時刻歴波形 (せん断力波形, モーメント波形, 軸力波形)	建設時と同様
	時刻歴最大値 (設備の最大ピーク応力)	150kg/mm ² 「昭和 55 年度 耐震設計の標準化に関する調査報告書」の検討にて十分とされている値	同左	1471MPa (150kg/mm ²)	同左
対象建屋・床		代表設備の質点	代表設備の設置床面 (質点)	全ての質点	全ての床面 (質点)
固有周期		時刻歴解析結果より直接算出	設備の固有周期ではなく, 全固有周期帯	建設時と同様	建設時と同様
減衰定数		時刻歴解析結果より直接算出	0.5%, 1.0%	建設時と同様	0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 4.0, 5.0%
設計用疲労線図		炭素鋼	同左	建設時と同様	同左
各方向の算出結果の組合せ		なし (NS・EW の 2 方向のうち最大となる値)	同左	なし (NS・EW・UD の 3 方向のうち最大となる値)	同左
材料物性の不確かさ等の考慮		なし	同左	あり ^{※1} (コンクリート剛性, 回転ばね定数, 地盤剛性他)	あり (コンクリート剛性, 回転ばね定数, 地盤剛性他)

※1 今回工認における等価繰返し回数の算出結果は, 時刻歴フローの算出結果に対し, 応答スペクトルフローの回数が多い。
このため, 材料物性の不確かさ等の考慮のための影響検討は応答スペクトルフローにて検討している。

- (2) 一律に設定する等価繰返し回数の算出パラメータの設定の考え方
等価繰返し回数設定におけるパラメータとしては以下の項目があり、各項目の妥当性を検討し、一律に設定する等価繰返し回数が適切であることを確認する。

- ①ピーク応力
- ②固有周期
- ③対象床面（質点）
- ④地震動
- ⑤減衰定数
- ⑥設計疲労線図
- ⑦材料物性の不確かさ等の考慮

① ピーク応力

「昭和 55 年度 耐震設計の標準化に関する調査報告書」にてピーク応力の設定値が高くなるほど等価繰返し回数が大きくなる傾向となることが確認されている（補足 7 でその傾向の計算例を示す。）。当該報告書の中でピーク応力の設定値として十分とされている値（ 150kg/mm^2 ）※を参考に、当該の値を単位換算した 1471MPa を柏崎刈羽 7 号機の等価繰返し回数の算出に用いる。

また、ピーク応力設定の適切性の確認は、各疲労評価対象設備のピーク応力が 1471MPa に包絡されることを確認する必要がある。この場合の各疲労評価対象設備のピーク応力は、水平 2 方向と鉛直方向の地震力の組合せを考慮したものである。

なお、疲労評価対象設備のピーク応力が 1471MPa を超える場合は個別に等価繰返し回数設定を行う。

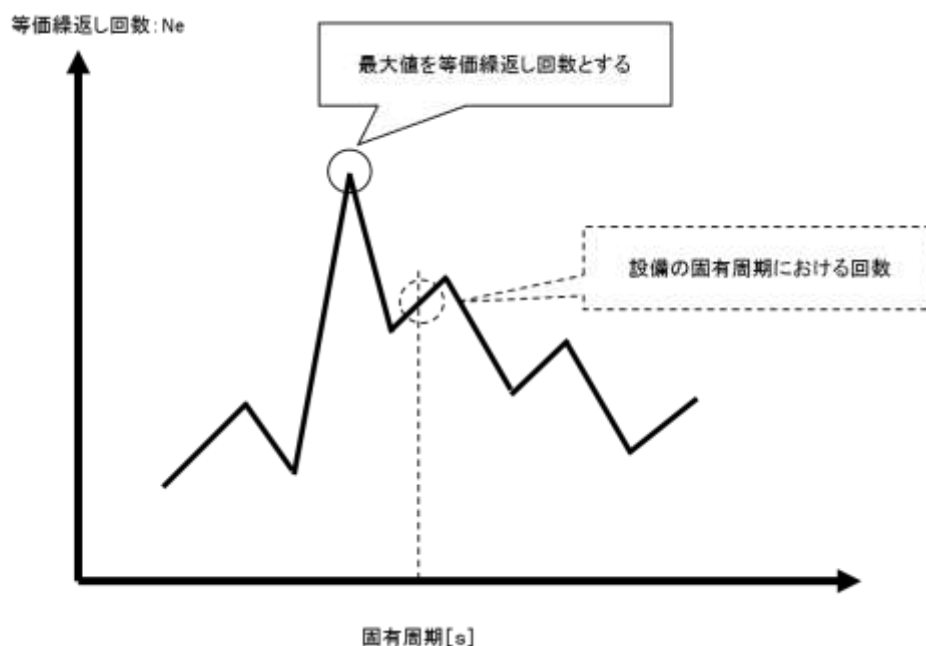
※ 「昭和 55 年度耐震設計の標準化に関する報告書」での整理。

現在用いられている材料において R P V 本体材料である S Q V 2 A 及び S F V V 3 の一次＋二次応力に対する許容値が最も高く、その値は $3\text{Sm} = 56.4\text{kg/mm}^2$ となる。

応力係数の極大値 5 とすればピーク応力の値としては片振幅に対して、 $56.4 \times 5 \div 2 = 141\text{kg/mm}^2$ となることから、最大ピーク応力としては、 150kg/mm^2 まで考慮すれば十分としている。

② 固有周期

今回工認では、全周期帯（0.05s~1.00s）で算出した最大の等価繰返し回数を包絡できるように設定する。実際の設備は、特定の固有周期を有していることから、当該疲労評価対象設備の等価繰返し回数は確実にそれ以下の回数となり、保守側の設定となる。



③ 対象床面（質点）

等価繰返し回数を設定する床面（質点）はV-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」で設備設計に用いる床応答曲線を算出する全ての床面と、V-2-2-4「原子炉本体の基礎の地震応答計算書」及びV-2-3-1「炉心、原子炉压力容器及び压力容器内部構造物の地震応答計算書」で設備設計に用いる荷重を算出する全ての質点（柏崎刈羽7号機において実際に疲労評価を実施する設備が有る床面以外も含む。）とする。

④ 地震動

柏崎刈羽原子力発電所における基準地震動は、 $S_s - 1 \sim 8$ の8波がある。
今回の等価繰返し回数の算出には全ての基準地震動を用いる。

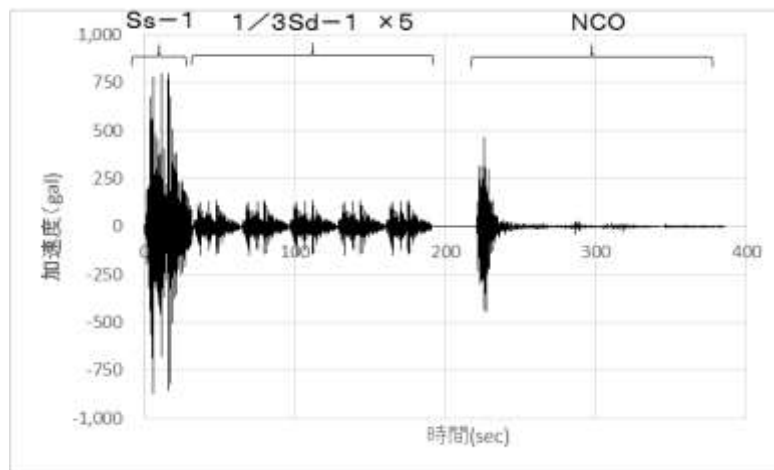
また、基準地震動に加えて以下の2点を考慮する。

- ・柏崎刈羽7号機設備はNCOを被災していることから、NCOの地震動の影響を考慮する。
- ・米国SRP3.7.3Rev.4の考え方を参考に、弾性設計用地震動 S_d の1/3倍の地震動5回分を考慮する（補足8参照）。

上記より今回の算出に用いる地震動は、基準地震動 S_s 、弾性設計用地震動 S_d の1/3倍の地震動5回分及びNCOを組み合わせることとし、表3.(2) - 1に示す8波とする。また、図3.(2) - 1に算出に用いた地震動の一例を示す。

表3.(2) - 1 柏崎刈羽7号機 今回工認の等価繰返し回数算出用の地震動

今回工認の算出用地震動		
$S_s - 1 \times 1$ 回	+	$1/3 S_d - 1 \times 5$ 回 + NCO
$S_s - 2 \times 1$ 回	+	$1/3 S_d - 2 \times 5$ 回 + NCO
$S_s - 3 \times 1$ 回	+	$1/3 S_d - 3 \times 5$ 回 + NCO
$S_s - 4 \times 1$ 回	+	$1/3 S_d - 4 \times 5$ 回 + NCO
$S_s - 5 \times 1$ 回	+	$1/3 S_d - 5 \times 5$ 回 + NCO
$S_s - 6 \times 1$ 回	+	$1/3 S_d - 6 \times 5$ 回 + NCO
$S_s - 7 \times 1$ 回	+	$1/3 S_d - 7 \times 5$ 回 + NCO
$S_s - 8 \times 1$ 回	+	$1/3 S_d - 8 \times 5$ 回 + NCO



($S_s-1 \times 1$ 回 + $1/3S_d-1 \times 5$ 回 + NCO)
 (原子炉建屋の地震応答解析モデル 鉛直方向 T.M.S.L.23.500)

図3. (2) - 1 算出に用いた入力地震動の例

⑤ 減衰定数

応答スペクトルフローでの算出に用いる 1 質点系の時刻歴応答解析の減衰定数は、網羅性を確保する観点から機器・配管系の評価用の減衰定数としてよく用いられる 8 ケース(*)とする。

(*) : 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0%, 2.5%, 3.0%, 4.0%, 5.0%

⑥ 設計疲労線図

今回の算出に用いる設計疲労線図は J S M E 設計・建設規格に記載される「炭素鋼, 低合金鋼及び高張力鋼」の設計用疲労線図とする。「炭素鋼, 低合金鋼および高張力鋼」の設計用疲労線図を用いるほうが同じピーク応力とした場合に J S M E 設計・建設規格に記載される「オーステナイト系ステンレス鋼および高ニッケル合金」よりも許容繰返し回数が小さくなり, 等価繰返し回数が大きく算出されるため, 今回の算出においては「炭素鋼, 低合金鋼及び高張力鋼」を用いる。

⑦ 材料物性の不確かさ等の考慮

V-2-1-1「耐震設計の基本方針」にて材料物性のばらつき等を適切に考慮する方針としていることから、今回工認の等価繰返し回数についても、算出に用いる地震応答解析モデルの材料物性の不確かさ等による影響を考慮する。

考慮にあたっては、基本ケースの地震応答解析による結果から等価繰返し回数の算出に支配的となる地震動・減衰定数を特定し、特定した地震動・減衰定数を用いて材料物性の不確かさ等を考慮した検討ケースでの等価繰返し回数を算出した後、算出結果を踏まえて安全側に設定を行う。具体的なフローを図3.(2)-2に示す。

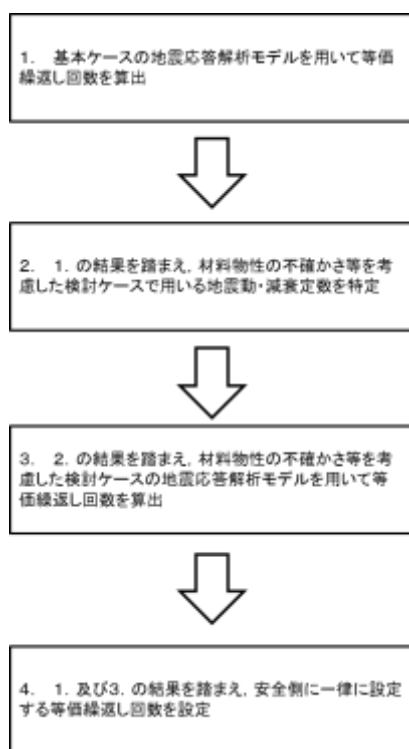


図3.(2)-2 一律に設定する等価繰返し回数 設定フロー

(3) 算出結果

基本ケースの地震応答解析モデルにて算出した等価繰返し回数を表3.(3) - 1に、詳細内訳を別紙に示す。また基本ケースの結果で最大となる減衰定数、地震動にて算出した材料物性の不確かさ等を考慮した結果を表3.(3) - 2に示す。また、この算出条件及び詳細内訳は別紙に示す。

表3.(3) - 1 地震応答解析モデル毎の最大等価繰返し回数 (基本ケース)

地震応答解析モデル	回数が最大となる条件		T.M.S.L.(m)	方向	最大回数
	減衰定数 (%)	地震動			
原子炉建屋の地震応答解析モデル	0.5	S _s -3系*	49.700	NS	
				UD	
			-8.200	UD	
大型機器系の地震応答解析モデル	2.0	S _s -3系*	21.200	UD	
炉内構造物系の地震応答解析モデル	2.5	S _s -3系*	14.433	UD	
タービン建屋の地震応答解析モデル	0.5	S _s -3系*	30.900	EW	
コントロール建屋の地震応答解析モデル	0.5	S _s -3系*	24.100	UD	
廃棄物処理建屋の地震応答解析モデル	2.0	S _s -3系*	44.300	UD	

※ S_s-3 × 1回 + 1/3 S_d-3 × 5回 + NCO

表3.(3) - 2 地震応答解析モデル毎の最大等価繰返し回数
(材料物性の不確かさを考慮)

地震応答 解析モデル	算出条件		T.M.S.L. (m)	方 向	最大回数		比率 (不確かさ 等考慮/基 本ケース)
	減衰 定数 (%)	地震動			基本 ケース	不確かさ等 考慮	
原子炉建屋の 地震応答解析モデル	0.5	S s - 3系 ^{※1}	49.700	NS			
	0.5	S s - 3系 ^{※1}	49.700	UD			
	0.5	S s - 3系 ^{※1}	-8.200	UD			
大型機器系の 地震応答解析モデル	2.0	S s - 3系 ^{※1}	21.200	UD			
炉内構造物系の 地震応答解析モデル	2.5	S s - 3系 ^{※1}	14.433	UD			
タービン建屋の 地震応答解析モデル	0.5	S s - 3系 ^{※1}	30.900	EW			
コントロール建屋の 地震応答解析モデル	0.5	S s - 1系 ^{※2}	24.100	UD			
			17.300				
			12.300				
			6.500				
			1.000				
	0.5	S s - 3系 ^{※1}	24.100	UD			
廃棄物処理建屋の 地震応答解析モデル	2.0	S s - 3系 ^{※1}	44.300	UD			

※1 S s - 3 × 1 回 + 1/3 S d - 3 × 5 回 + N C O

※2 S s - 1 × 1 回 + 1/3 S d - 1 × 5 回 + N C O

※3 S s - 1系における不確かさ等考慮ケースの最大回数と S s - 1系における基本ケースの最大回数の比率を算出し、その比率を S s - 3系における基本ケースの最大回数に掛け合わせて S s - 3系における不確かさ等考慮ケースの最大回数を算出した。

(4) 弾性設計用地震動 S_d の等価繰返し回数について

柏崎刈羽原子力発電所の弾性設計用地震動 S_d は基準地震動 S_s に係数 0.5 を乗じて設定しており、建屋の各床面（質点）における弾性設計用地震動 S_d による応答波形は、基準地震動 S_s による応答波形にほぼ等しくなる。また、弾性設計用地震動 S_d により発生するピーク応力は、基準地震動 S_s により発生するピーク応力よりも小さくなる。

ピーク応力法においては、波形が等しい2つの地震動で等価繰返し回数を算出する場合、ピーク応力が高くなるほど等価繰返し回数の算出が保守的となる（「3. (2) ①ピーク応力」参照）。

したがって、基準地震動 S_s の地震動及びピーク応力に基づき算出した等価繰返し回数を弾性設計用地震動 S_d の等価繰返し回数に用いることは保守側の設定となる。

以上の理由から、今回工認における弾性設計用地震動 S_d の等価繰返し回数は、弾性設計用地震動 S_d を用いた等価繰返し回数の算出は行わず、基準地震動 S_s の等価繰返し回数と同じ回数とする。

(5) 結果まとめ

- ・基本ケースでの算出結果は廃棄物処理建屋の地震応答解析モデルでの□回が最大であった。
- ・材料物性の不確かさ等を考慮した算出結果は廃棄物処理建屋の地震応答解析モデルでの□回が最大であった。

上記は、等価繰返し回数が保守的になるよう算出パラメータを設定して等価繰返し回数を算出した結果である（3.（2）参照）。また、今回工認の疲労評価手法は、柏崎刈羽7号機の地震動の特徴により保守側の結果を与える（補足6.4参照）。

以上より、柏崎刈羽7号機の一律に設定する等価繰返し回数は200回とする。

4. 個別に設定する等価繰返し回数の設定について

柏崎刈羽7号機の今回工認において一律に設定する等価繰返し回数を適用せず、個別に設定する等価繰返し回数を適用する場合について説明する。

(1) 対象設備

個別に設定する等価繰返し回数を設定する必要がある疲労評価対象設備は図2-1のフローに従って抽出される以下の疲労評価対象設備となる。

- (A) 原子炉建屋，タービン建屋，コントロール建屋及び廃棄物処理建屋以外に設置される疲労評価対象設備
- (B) 発生するピーク応力が1471MPaを超える疲労評価対象設備
- (C) 一律に設定する等価繰返し回数を用いた疲労評価が許容値を満足しない疲労評価対象設備

(2) 個別に設定する等価繰返し回数設定方針

個別に設定する場合の算出条件を一律に設定する等価繰返し回数と併せ表4.(2)-1に示す。

算出条件の一部（設置場所，固有周期，減衰定数，ピーク応力，設計用疲労線図）に疲労評価対象設備固有の条件を用いた上で算出することで，各疲労評価対象設備に対して個別に設定する等価繰返し回数とする。

また，一律に設定する等価繰返し回数と同様に，材料物性の不確かさ等の影響を考慮する。

表4.(2)-1 一律に設定する等価繰返し回数と個別に設定する等価繰返し回数の条件

条件の項目	一律に設定する等価繰返し回数	個別に設定する等価繰返し回数	備考
対象建屋・床	全床面（質点）	疲労評価対象設備の設置位置	
ピーク応力	1471MPa	1471MPa ^{※1}	※1 必要に応じて疲労評価対象設備のピーク応力を用いる。
固有周期	全固有周期	全固有周期 ^{※2}	※2 必要に応じて疲労評価対象設備の固有周期を用いる。
減衰定数	0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 4.0, 5.0%	設備の減衰定数	
設計用疲労線図	炭素鋼	炭素鋼 ^{※3}	※3 必要に応じて疲労評価対象設備の使用材料の設計用疲労線図を用いる。

(3) 算出結果

(2) 項の方針に基づき算出した個別に設定する等価繰返し回数を以下に示す。

(A) 原子炉建屋，タービン建屋，コントロール建屋及び廃棄物処理建屋以外に設置される疲労評価対象設備

原子炉建屋，タービン建屋，コントロール建屋及び廃棄物処理建屋以外に設置される設備で疲労評価対象設備は無し。

(B) 発生するピーク応力が 1471MPa を超える疲労評価対象設備

該当する設備として原子炉補機冷却水系配管(RCW-T-3, RCW-T-4)がある。算出条件，算出結果及び個別に設定する等価繰返し回数を表 4.

(3) - 1 及び 2 に示す。

(C) 一律に設定する等価繰返し回数を用いた疲労評価が許容値を満足しない疲労評価対象設備

該当する設備として消火系配管(FP-025R2)，非放射性ドレン移送系配管(MSC-002R2)，雑用水系配管(DW-006R2)及びタービン補機冷却水系配管(TCW-001R1)がある。算出条件，算出結果及び個別に設定する等価繰返し回数を表 4. (3) - 3 及び 4 に示す。

表 4. (3) - 1 原子炉補機冷却水系配管(RCW-T-3) 個別に設定する等価繰返し回数

算出条件						算出結果					個別に設定する 等価繰返し回数
建屋・構築物	T.M.S.L. (m)	減衰定数 (%)	ピーク応力 (MPa)	1 質点系の 固有周期(s)	設計用 疲労線図	等価繰返し回数 ^{※3}				最大 回数	
						検討ケース	NS	EW	UD		
原子炉建屋	-1.700	2.0	1631	全固有周期	炭素鋼	基本ケース ^{※1}					70
タービン建屋	-1.100		1625			ケース 2~6 ^{※1}					
		基本ケース ^{※2}									
ケース 2~5 ^{※2}											

※1：別紙 表Ⅱ. 2 参照

※2：別紙 表Ⅱ. 8 参照

※3：下線部：算出結果が最大の等価繰返し回数

22

表 4. (3) - 2 原子炉補機冷却水系配管(RCW-T-4) 個別に設定する等価繰返し回数

算出条件						算出結果					個別に設定する 等価繰返し回数
建屋・構築物	T.M.S.L. (m)	減衰定数 (%)	ピーク応力 (MPa)	1 質点系の 固有周期(s)	設計用 疲労線図	等価繰返し回数 ^{※3}				最大 回数	
						検討ケース	NS	EW	UD		
原子炉建屋	-1.700	2.0	1536	全固有周期	炭素鋼	基本ケース ^{※1}					70
タービン建屋	-1.100		1631			ケース 2~6 ^{※1}					
		基本ケース ^{※2}									
ケース 2~5 ^{※2}											

※1：別紙 表Ⅱ. 2 参照

※2：別紙 表Ⅱ. 8 参照

※3：下線部：算出結果が最大の等価繰返し回数

表4.(3)-3 消火系配管(FP-025R2) 等価繰返し回数算出結果

算出条件						算出結果				個別に設定する等価繰返し回数	
建屋・構築物	T.M.S.L. (m)	減衰定数 (%)	ピーク応力 (MPa)	1質点系の 固有周期(s)	設計用 疲労線図	等価繰返し回数 ^{※3}					最大 回数
						検討ケース	NS	EW	UD		
コントロール 建屋	24.100	2.0	1471	全固有周期	炭素鋼	基本ケース ^{※1}					80
	17.300					ケース 2~6 ^{※1}					
						基本ケース ^{※1}					
	12.300					ケース 2~6 ^{※1}					
						基本ケース ^{※1}					
	廃棄物処理 建屋					20.400					
12.300		ケース 2~5 ^{※2}									
		基本ケース ^{※2}									
		ケース 2~5 ^{※2}									

※1：別紙 表Ⅱ. 10参照

※2：別紙 表Ⅱ. 12参照

※3：下線部：算出結果が最大の等価繰返し回数

※4：一律に設定する等価繰返し回数の算出結果より，材料物性の不確かさ等による影響を考慮した個別に設定する等価繰返し回数を算出する。例えばコントロール建屋 NS 方向(T.M.S.L.24.100(m))では別紙 表Ⅰ (5) - 1 より，S s - 1 系の地震動による減衰定数 0.5%で 回，S s - 3 系の減衰定数 2.0%で 回とその比率 が得られる。この比率を別紙 表Ⅲ (5) の不確かさ等考慮ケースで最大となるケース 2 又は 3 の 回に掛け合わせ 回となる。更に比率を用いた算出に保守性を考慮するため， 回を加算し，不確かさ等考慮した等価繰返し回数として 回を設定している。

表4.(3) - 4 非放射性ドレン移送系配管 (MSC-002R2), 雑用水系配管 (配管モデル: DW-006R2),
タービン補機冷却水系配管(TCW-001R1) 等価繰返し回数算出結果

算出条件						算出結果				個別に設定する等価繰返し回数	
建屋・構築物	T.M.S.L. (m)	減衰定数 (%)	ピーク応力 (MPa)	1 質点系の 固有周期(s)	設計用 疲労線図	等価繰返し回数 ^{※3}					最大 回数
						検討ケース	NS	EW	UD		
コントロール 建屋	17.300	2.0	1471	全固有周期	炭素鋼	基本ケース ^{※1}					80
	12.300					ケース 2~6 ^{※1}					
						基本ケース ^{※1}					
	廃棄物処理 建屋					20.400					
12.300						基本ケース ^{※2}					
						ケース 2~5 ^{※2}					
						基本ケース ^{※2}					
	ケース 2~5 ^{※2}										

※1 : 別紙 表II. 1 0 参照

※2 : 別紙 表II. 1 2 参照

※3 : 下線部 : 算出結果が最大の等価繰返し回数

※4 : 一律に設定する等価繰返し回数の算出結果より, 材料物性の不確かさ等による影響を考慮した個別に設定する等価繰返し回数を算出する。例えばコントロール建屋 NS 方向(T.M.S.L.17.300(m))では別紙 表 I (5) - 1 より, S s - 1 系の地震動による減衰定数 0.5% で 回, S s - 3 系の減衰定数 2.0% で 回とその比率 が得られる。この比率を別紙 表 III (5) の不確かさ等考慮ケースで最大となるケース 3 の 回に掛け合わせ 回となる。更に比率を用いた算出に保守性を考慮するため, 回を加算し, 不確かさ等考慮した等価繰返し回数として 回を設定している。

5. まとめ

今回の柏崎刈羽 7 号機における等価繰返し回数は、等価繰返し回数算出に影響するパラメータ（ピーク応力、固有周期、対象床面（質点）、地震動、減衰定数、設計疲労線図及び材料物性の不確かさ等）を保守的に設定した算出を行い、算出結果を包絡することで一律に設定する値（ S_s : 200 回, S_d : 200 回）を設定している。

個別に設定する等価繰返し回数についてもパラメータ（ピーク応力、固有周期、対象床面（質点）、減衰定数及び設計疲労線図）を疲労評価対象設備固有の条件を用いた上で算出し、設定している。

別紙

I. 基本ケースでの等価繰返し回数の算出結果

- (1) 原子炉建屋の地震応答解析モデル
- (2) 大型機器系の地震応答解析モデル
- (3) 炉内構造物系の地震応答解析モデル
- (4) タービン建屋の地震応答解析モデル
- (5) コントロール建屋の地震応答解析モデル
- (6) 廃棄物処理建屋の地震応答解析モデル

II. 材料物性の不確かさを考慮する場合の条件

III. 等価繰返し回数の算出結果（材料物性の不確かさを考慮）

- (1) 原子炉建屋の地震応答解析モデル
- (2) 大型機器系の地震応答解析モデル
- (3) 炉内構造物系の地震応答解析モデル
- (4) タービン建屋の地震応答解析モデル
- (5) コントロール建屋の地震応答解析モデル
- (6) 廃棄物処理建屋の地震応答解析モデル

IV. 等価繰返し回数の算出位置

I. 等価繰返し回数の算出結果（基本ケース）

(1) 原子炉建屋の地震応答解析モデル

表 I (1) - 1 原子炉建屋の地震応答解析モデル（応答スペクトルフロー）
NS 方向

部位	T.M.S.L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-1×1 + 1/3Sd-1 ×5 +NCO	Ss-2×1 + 1/3Sd-2 ×5 +NCO	Ss-3×1 + 1/3Sd-3 ×5 +NCO	Ss-4×1 + 1/3Sd-4 ×5 +NCO	Ss-5×1 + 1/3Sd-5 ×5 +NCO	Ss-6×1 + 1/3Sd-6 ×5 +NCO	Ss-7×1 + 1/3Sd-7 ×5 +NCO	Ss-8×1 + 1/3Sd-8 ×5 +NCO	
原子炉 建屋	49.700	5.0									
		4.0									
		3.0									
		2.5									
		2.0									
		1.5									
		1.0									
		0.5									
	38.200	5.0									
		4.0									
		3.0									
		2.5									
		2.0									
		1.5									
		1.0									
		0.5									
	31.700	5.0									
		4.0									
		3.0									
		2.5									
		2.0									
		1.5									
		1.0									
		0.5									
	23.500	5.0									
		4.0									
		3.0									
		2.5									
		2.0									
		1.5									
		1.0									
		0.5									
	18.100	5.0									
		4.0									
		3.0									
		2.5									
2.0											
1.5											
1.0											
0.5											

表 I (1) - 1 原子炉建屋の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー)
NS 方向

部位	T.M.S.L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-1×1 + 1/3Sd-1 ×5 +NCO	Ss-2×1 + 1/3Sd-2 ×5 +NCO	Ss-3×1 + 1/3Sd-3 ×5 +NCO	Ss-4×1 + 1/3Sd-4 ×5 +NCO	Ss-5×1 + 1/3Sd-5 ×5 +NCO	Ss-6×1 + 1/3Sd-6 ×5 +NCO	Ss-7×1 + 1/3Sd-7 ×5 +NCO	Ss-8×1 + 1/3Sd-8 ×5 +NCO	
原子炉 建屋 (続き)	12.300	5.0									
		4.0									
		3.0									
		2.5									
		2.0									
		1.5									
		1.0									
		0.5									
	4.800	5.0									
		4.0									
		3.0									
		2.5									
		2.0									
		1.5									
		1.0									
		0.5									
	-1.700	5.0									
		4.0									
		3.0									
		2.5									
		2.0									
		1.5									
		1.0									
		0.5									
	-8.200	5.0									
		4.0									
		3.0									
		2.5									
		2.0									
		1.5									
		1.0									
		0.5									

表 I (1) - 2 原子炉建屋の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー) EW 方向

部位	T.M.S.L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-1×1	Ss-2×1	Ss-3×1	Ss-4×1	Ss-5×1	Ss-6×1	Ss-7×1	Ss-8×1
			+ 1/3Sd-1 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-2 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-3 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-4 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-5 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-6 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-7 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-8 ×5 +NCO
原子炉 建屋	49.700	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	38.200	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	31.700	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	23.500	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	18.100	5.0								
		4.0								
		3.0								
2.5										
2.0										
1.5										
1.0										
0.5										

表 I (1) - 2 原子炉建屋の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー) EW 方向

部位	T.M.S.L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-1×1	Ss-2×1	Ss-3×1	Ss-4×1	Ss-5×1	Ss-6×1	Ss-7×1	Ss-8×1
			+ 1/3Sd-1 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-2 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-3 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-4 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-5 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-6 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-7 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-8 ×5 +NCO
原子炉 建屋 (続き)	12.300	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	4.800	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	-1.700	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	-8.200	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								

表 I (1) - 3 原子炉建屋の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー) UD 方向

部位	T.M.S.L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-1×1	Ss-2×1	Ss-3×1	Ss-4×1	Ss-5×1	Ss-6×1	Ss-7×1	Ss-8×1
			+ 1/3Sd-1 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-2 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-3 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-4 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-5 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-6 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-7 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-8 ×5 +NCO
原子炉 建屋	49.700	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	38.200	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	31.700	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	23.500	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	18.100	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
2.0										
1.5										
1.0										
0.5										

表 I (1) - 3 原子炉建屋の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー) UD 方向

部位	T.M.S.L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-1×1	Ss-2×1	Ss-3×1	Ss-4×1	Ss-5×1	Ss-6×1	Ss-7×1	Ss-8×1
			+ 1/3Sd-1 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-2 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-3 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-4 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-5 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-6 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-7 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-8 ×5 +NCO
原子炉 建屋 (続き)	12.300	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	4.800	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	-1.700	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	-8.200	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								

(2) 大型機器系の地震応答解析モデル

表 I (2) - 1. 1 大型機器系の地震応答解析モデル (時刻歴フロー)
せん断力 NS 方向

機器	T.M.S.L. (m)	Ss-1×1	Ss-2×1	Ss-3×1	Ss-4×1	Ss-5×1	Ss-6×1	Ss-7×1	Ss-8×1
		+ 1/3Sd-1×5 + NCO	+ 1/3Sd-2×5 + NCO	+ 1/3Sd-3×5 + NCO	+ 1/3Sd-4×5 + NCO	+ 1/3Sd-5×5 + NCO	+ 1/3Sd-6×5 + NCO	+ 1/3Sd-7×5 + NCO	+ 1/3Sd-8×5 + NCO
原子炉 圧力 容器	26.013								
	23.553								
	22.163								
	20.494								
	18.716								
	16.563								
	15.262								
	12.332								
	9.402								
	6.904								
4.950									
原子炉 圧力容 器スカ ート	9.402								
	8.200								
原子炉 遮蔽壁	21.200								
	18.440								
	17.020								
	15.600								
	13.950								
原子炉 本体 基礎	12.300								
	8.200								
	7.000								
	4.500								
	3.500								
	1.700								
	-2.100								
	-4.700								
-8.200									

表 I (2) - 1. 2 大型機器系の地震応答解析モデル (時刻歴フロー)
せん断力 EW 方向

部位	T.M.S.L. (m)	Ss-1×1	Ss-2×1	Ss-3×1	Ss-4×1	Ss-5×1	Ss-6×1	Ss-7×1	Ss-8×1
		+ 1/3Sd-1×5 + NCO×1	+ 1/3Sd-2×5 + NCO×1	+ 1/3Sd-3×5 + NCO×1	+ 1/3Sd-4×5 + NCO×1	+ 1/3Sd-5×5 + NCO×1	+ 1/3Sd-6×5 + NCO×1	+ 1/3Sd-7×5 + NCO×1	+ 1/3Sd-8×5 + NCO×1
原子炉 圧力 容器	26.013								
	23.553								
	22.163								
	20.494								
	18.716								
	16.563								
	15.262								
	12.332								
	9.402								
	6.904								
4.950									
原子炉 圧力容 器スカ ート	9.402								
	8.200								
原子炉 遮蔽壁	21.200								
	18.440								
	17.020								
	15.600								
	13.950								
原子炉 本体 基礎	12.300								
	8.200								
	7.000								
	4.500								
	3.500								
	1.700								
	-2.100								
	-4.700								
-8.200									

表 I (2) - 1. 3 大型機器系の地震応答解析モデル (時刻歴フロー)
モーメント NS 方向

部位	T.M.S.L. (m)	Ss-1×1	Ss-2×1	Ss-3×1	Ss-4×1	Ss-5×1	Ss-6×1	Ss-7×1	Ss-8×1
		+ 1/3Sd-1×5 + NCO	+ 1/3Sd-2×5 + NCO	+ 1/3Sd-3×5 + NCO	+ 1/3Sd-4×5 + NCO	+ 1/3Sd-5×5 + NCO	+ 1/3Sd-6×5 + NCO	+ 1/3Sd-7×5 + NCO	+ 1/3Sd-8×5 + NCO
原子炉 圧力 容器	26.013								
	23.553								
	22.163								
	20.494								
	18.716								
	16.563								
	15.262								
	12.332								
	9.402								
	6.904								
	4.950								
原子炉 圧力容 器スカ ート	9.402								
	8.200								
原子炉 遮蔽壁	21.200								
	18.440								
	17.020								
	15.600								
	13.950								
原子炉 本体 基礎	12.300								
	8.200								
	7.000								
	4.500								
	3.500								
	1.700								
	-2.100								
	-4.700								
-8.200									

表 I (2) - 1. 4 大型機器系の地震応答解析モデル (時刻歴フロー)
モーメント EW 方向

部位	T.M.S.L. (m)	Ss-1×1	Ss-2×1	Ss-3×1	Ss-4×1	Ss-5×1	Ss-6×1	Ss-7×1	Ss-8×1
		+ 1/3Sd-1×5 + NCO	+ 1/3Sd-2×5 + NCO	+ 1/3Sd-3×5 + NCO	+ 1/3Sd-4×5 + NCO	+ 1/3Sd-5×5 + NCO	+ 1/3Sd-6×5 + NCO	+ 1/3Sd-7×5 + NCO	+ 1/3Sd-8×5 + NCO
原子炉 圧力 容器	26.013								
	23.553								
	22.163								
	20.494								
	18.716								
	16.563								
	15.262								
	12.332								
	9.402								
	6.904								
4.950									
原子炉 圧力容 器スカ ート	9.402								
	8.200								
原子炉 遮蔽壁	21.200								
	18.440								
	17.020								
	15.600								
	13.950								
原子炉 本体 基礎	12.300								
	8.200								
	7.000								
	4.500								
	3.500								
	1.700								
	-2.100								
	-4.700								
-8.200									

表 I (2) - 1. 5 大型機器系の地震応答解析モデル (時刻歴フロー)
軸力 UD 方向

部位	T.M.S.L. (m)	Ss-1×1 + 1/3Sd-1×5 + NCO	Ss-2×1 + 1/3Sd-2×5 + NCO	Ss-3×1 + 1/3Sd-3×5 + NCO	Ss-4×1 + 1/3Sd-4×5 + NCO	Ss-5×1 + 1/3Sd-5×5 + NCO	Ss-6×1 + 1/3Sd-6×5 + NCO	Ss-7×1 + 1/3Sd-7×5 + NCO	Ss-8×1 + 1/3Sd-8×5 + NCO
原子炉 圧力容 器	26.013								
	23.553								
	22.163								
	20.494								
	18.716								
	17.179								
	16.506								
	15.641								
	15.266								
	14.433								
	13.721								
	13.009								
	12.297								
	11.585								
	10.873								
	10.161								
	9.645								
	9.402								
	8.395								
	7.388								
6.795									
6.253									
5.783									
5.817									
5.066									
原子炉 圧力容 器スカ ート	9.402								
	8.200								

表 I (2) - 1. 5 大型機器系の地震応答解析モデル (時刻歴フロー)
軸力 UD 方向

部位	T.M.S.L. (m)	Ss-1×1	Ss-2×1	Ss-3×1	Ss-4×1	Ss-5×1	Ss-6×1	Ss-7×1	Ss-8×1
		+ 1/3Sd-1×5 + NCO	+ 1/3Sd-2×5 + NCO	+ 1/3Sd-3×5 + NCO	+ 1/3Sd-4×5 + NCO	+ 1/3Sd-5×5 + NCO	+ 1/3Sd-6×5 + NCO	+ 1/3Sd-7×5 + NCO	+ 1/3Sd-8×5 + NCO
原子炉 遮蔽壁	21.200								
	18.440								
	17.020								
	15.600								
	13.950								
	12.300								
原子炉 本体 基礎	8.200								
	7.000								
	4.500								
	3.500								
	1.700								
	-2.100								
	-4.700								
	-8.200								

表 I (2) - 2. 1 大型機器系の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー)
NS 方向

部位	T.M.S.L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-3×1 + 1/3Sd-3 ×5 +NCO	部位	T.M.S.L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-3×1 + 1/3Sd-3 ×5 +NCO	部位	T.M.S.L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-3×1 + 1/3Sd-3 ×5 +NCO						
原子 炉遮 蔽壁	21.200	5.0		原子 炉本 体基 礎	12.300	5.0		原子 炉本 体基 礎	1.700	5.0							
		4.0				4.0				4.0							
		3.0				3.0				3.0							
		2.5				2.5				2.5							
		2.0				2.0				2.0							
		1.5				1.5				1.5							
		1.0				1.0				1.0							
		0.5				0.5				0.5							
	18.440	5.0			5.0	5.0											
		4.0			4.0	4.0											
		3.0			3.0	3.0											
		2.5			2.5	2.5											
		2.0			2.0	2.0											
		1.5			1.5	1.5											
		1.0			1.0	1.0											
		0.5			0.5	0.5											
	17.020	5.0			5.0	5.0											
		4.0			4.0	4.0											
		3.0			3.0	3.0											
		2.5			2.5	2.5											
		2.0			2.0	2.0											
		1.5			1.5	1.5											
		1.0			1.0	1.0											
		0.5			0.5	0.5											
	15.600	5.0			5.0	5.0											
		4.0			4.0	4.0											
		3.0			3.0	3.0											
		2.5			2.5	2.5											
		2.0			2.0	2.0											
		1.5			1.5	1.5											
		1.0			1.0	1.0											
		0.5			0.5	0.5											
	13.950	5.0			5.0	5.0											
		4.0			4.0	4.0											
		3.0			3.0	3.0											
		2.5			2.5	2.5											
		2.0			2.0	2.0											
		1.5			1.5	1.5											
		1.0			1.0	1.0											
		0.5			0.5	0.5											
	原子 炉圧 力容 器	26.013			5.0				原子 炉本 体基 礎	7.000		5.0		原子 炉本 体基 礎	-2.100	5.0	
					4.0							4.0				4.0	
					3.0							3.0				3.0	
					2.5							2.5				2.5	
					2.0							2.0				2.0	
					1.5							1.5				1.5	
					1.0							1.0				1.0	
					0.5							0.5				0.5	
20.494		5.0	5.0	5.0													
		4.0	4.0	4.0													
		3.0	3.0	3.0													
		2.5	2.5	2.5													
		2.0	2.0	2.0													
		1.5	1.5	1.5													
		1.0	1.0	1.0													
		0.5	0.5	0.5													
4.500		5.0	5.0	5.0													
		4.0	4.0	4.0													
		3.0	3.0	3.0													
		2.5	2.5	2.5													
		2.0	2.0	2.0													
		1.5	1.5	1.5													
		1.0	1.0	1.0													
		0.5	0.5	0.5													
3.500	5.0	5.0	5.0														
	4.0	4.0	4.0														
	3.0	3.0	3.0														
	2.5	2.5	2.5														
	2.0	2.0	2.0														
	1.5	1.5	1.5														
	1.0	1.0	1.0														
	0.5	0.5	0.5														

(大型機器系の地震応答解析モデルでの算出結果から、Ss-3系による地震動を代表して記載。)

表 I (2) - 2. 1 大型機器系の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー)
NS 方向

部位	T.M.S.L. (m)	減衰 定数 (%)	$S_s-3 \times 1$ + $\frac{1}{3}S_d-3 \times$ $\frac{5}{5}$ +NCO
原子 炉圧 力 容 器 (続 き)	16.563	5.0	
		4.0	
		3.0	
		2.5	
		2.0	
		1.5	
		1.0	
		0.5	
	15.262	5.0	
		4.0	
		3.0	
		2.5	
		2.0	
		1.5	
		1.0	
		0.5	
	4.950	5.0	
		4.0	
		3.0	
		2.5	
		2.0	
		1.5	
		1.0	
		0.5	

(大型機器系の地震応答解析モデルでの算出結果から、 S_s-3 系による地震動を代表して記載。)

表 I (2) - 2. 2 大型機器系の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー)
EW 方向

部位	T.M.S.L. (m)	減衰定数 (%)	$S_s-3 \times 1 + 1/3Sd-3 \times 5 + NCO$	部位	T.M.S.L. (m)	減衰定数 (%)	$S_s-3 \times 1 + 1/3Sd-3 \times 5 + NCO$	部位	T.M.S.L. (m)	減衰定数 (%)	$S_s-3 \times 1 + 1/3Sd-3 \times 5 + NCO$
原子炉遮蔽壁	21.200	5.0		原子炉本体基礎	12.300	5.0		原子炉本体基礎	1.700	5.0	
		4.0				4.0				4.0	
		3.0				3.0				3.0	
		2.5				2.5				2.5	
		2.0				2.0				2.0	
		1.5				1.5				1.5	
		1.0				1.0				1.0	
		0.5				0.5				0.5	
	18.440	5.0			8.200	5.0			-2.100	5.0	
		4.0				4.0				4.0	
		3.0				3.0				3.0	
		2.5				2.5				2.5	
		2.0				2.0				2.0	
		1.5				1.5				1.5	
		1.0				1.0				1.0	
		0.5				0.5				0.5	
	17.020	5.0			7.000	5.0			-4.700	5.0	
		4.0				4.0				4.0	
		3.0				3.0		3.0			
		2.5				2.5		2.5			
		2.0				2.0		2.0			
		1.5				1.5		1.5			
		1.0				1.0		1.0			
		0.5				0.5		0.5			
	15.600	5.0			4.500	5.0		原子炉圧力容器	26.013	5.0	
		4.0				4.0				4.0	
		3.0				3.0				3.0	
		2.5				2.5				2.5	
		2.0				2.0				2.0	
		1.5				1.5				1.5	
		1.0				1.0				1.0	
		0.5				0.5				0.5	
	13.950	5.0			3.500	5.0			20.494	5.0	
		4.0				4.0				4.0	
		3.0				3.0				3.0	
		2.5				2.5				2.5	
2.0		2.0	2.0								
1.5		1.5	1.5								
1.0		1.0	1.0								
0.5		0.5	0.5								

(大型機器系の地震応答解析モデルでの算出結果から, S_s-3 系による地震動を代表して記載。)

表 I (2) - 2. 2 大型機器系の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー)
EW 方向

部位	T.M.S.L. (m)	減衰 定数 (%)	$S_s-3 \times 1$ + $1/3 S_d-3 \times$ 5 +NCO
原子 炉圧 力 容 器 (続 き)	16.563	5.0	
		4.0	
		3.0	
		2.5	
		2.0	
		1.5	
		1.0	
		0.5	
	15.262	5.0	
		4.0	
		3.0	
		2.5	
		2.0	
		1.5	
		1.0	
		0.5	
	4.950	5.0	
		4.0	
		3.0	
		2.5	
		2.0	
		1.5	
		1.0	
		0.5	

(大型機器系の地震応答解析モデルでの算出結果から、 S_s-3 系による地震動を代表して記載。)

表 I (2) - 2. 3 大型機器系の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー)
UD 方向

部位	T.M.S.L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-3×1 + 1/3Sd-3 ×5 +NCO	部位	T.M.S.L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-3×1 + 1/3Sd-3× 5 +NCO	部位	T.M.S.L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-3×1 + 1/3Sd-3 ×5 +NCO		
原子 炉遮 蔽壁	21.200	5.0		原子 炉本 体基 礎	12.300	5.0		原子 炉本 体基 礎	1.700	5.0			
		4.0				4.0				4.0			
		3.0				3.0				3.0			
		2.5				2.5				2.5			
		2.0				2.0				2.0			
		1.5				1.5				1.5			
		1.0				1.0				1.0			
		0.5				0.5				0.5			
	18.440	5.0			5.0	8.200			5.0	5.0		-2.100	5.0
		4.0			4.0				4.0	4.0			
		3.0			3.0				3.0	3.0			
		2.5			2.5				2.5	2.5			
		2.0			2.0				2.0	2.0			
		1.5			1.5				1.5	1.5			
		1.0			1.0				1.0	1.0			
		0.5			0.5				0.5	0.5			
	17.020	5.0			5.0	7.000			5.0	5.0		-4.700	5.0
		4.0			4.0				4.0	4.0			
		3.0			3.0				3.0	3.0			
		2.5			2.5				2.5	2.5			
		2.0			2.0				2.0	2.0			
		1.5			1.5				1.5	1.5			
		1.0			1.0				1.0	1.0			
		0.5			0.5				0.5	0.5			
	15.600	5.0			5.0	4.500			5.0	5.0		26.013	5.0
		4.0			4.0				4.0	4.0			
		3.0			3.0				3.0	3.0			
		2.5			2.5				2.5	2.5			
		2.0			2.0				2.0	2.0			
		1.5			1.5				1.5	1.5			
		1.0			1.0				1.0	1.0			
		0.5			0.5				0.5	0.5			
	13.950	5.0			5.0	3.500			5.0	5.0		20.494	5.0
		4.0			4.0				4.0	4.0			
		3.0			3.0				3.0	3.0			
		2.5			2.5				2.5	2.5			
2.0		2.0	2.0	2.0									
1.5		1.5	1.5	1.5									
1.0		1.0	1.0	1.0									
0.5		0.5	0.5	0.5									

(大型機器系の地震応答解析モデルでの算出結果から、Ss-3系による地震動を代表して記載。)

表 I (2) - 2. 3 大型機器系の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー)

UD 方向

部位	T.M.S.L. (m)	減衰 定数 (%)	$S_s-3 \times 1$ + $1/3 S_d-3$ $\times 5$ +NCO
原子 炉圧 力 容 器 (続 き)	16.506	5.0	
		4.0	
		3.0	
		2.5	
		2.0	
		1.5	
		1.0	
		0.5	
	15.266	5.0	
		4.0	
		3.0	
		2.5	
		2.0	
		1.5	
		1.0	
		0.5	
	5.066	5.0	
		4.0	
		3.0	
		2.5	
		2.0	
		1.5	
		1.0	
		0.5	

(大型機器系の地震応答解析モデルでの算出結果から、 S_s-3 系による地震動を代表して記載。)

(3) 炉内構造物系の地震応答解析モデル

表 I (3) - 1. 1 炉内構造物系の地震応答解析モデル (時刻歴フロー)

せん断力 NS 方向

部位	T.M.S.L. (m)	Ss-1×1	Ss-2×1	Ss-3×1	Ss-4×1	Ss-5×1	Ss-6×1	Ss-7×1	Ss-8×1
		+ 1/3Sd-1×5 + NCO	+ 1/3Sd-2×5 + NCO	+ 1/3Sd-3×5 + NCO	+ 1/3Sd-4×5 + NCO	+ 1/3Sd-5×5 + NCO	+ 1/3Sd-6×5 + NCO	+ 1/3Sd-7×5 + NCO	+ 1/3Sd-8×5 + NCO
燃料 集合体	14.433								
	13.721								
	13.009								
	12.297								
	11.585								
	10.873								
	10.161								
制御棒 案内管	10.161								
	9.645								
	9.402								
	8.395								
	7.388								
	6.795								
制御棒 駆動機 構 ハウジ ング	6.347								
	5.817								
	5.066								
制御棒 駆動機 構 ハウジ ング (内側)	4.213								
	3.361								
	2.508								
	1.655								
	0.934								
	0.184								
制御棒 駆動機 構 ハウジ ング (外側)	5.817								
	5.066								
	4.213								
	3.361								
	2.508								
	1.655								
	0.934								
0.184									

表 I (3) - 1. 1 炉内構造物系の地震応答解析モデル (時刻歴フロー)

せん断力 NS 方向

部位	T.M.S.L. (m)	Ss-1×1	Ss-2×1	Ss-3×1	Ss-4×1	Ss-5×1	Ss-6×1	Ss-7×1	Ss-8×1
		+ 1/3Sd-1×5 + NCO	+ 1/3Sd-2×5 + NCO	+ 1/3Sd-3×5 + NCO	+ 1/3Sd-4×5 + NCO	+ 1/3Sd-5×5 + NCO	+ 1/3Sd-6×5 + NCO	+ 1/3Sd-7×5 + NCO	+ 1/3Sd-8×5 + NCO
気水分 離器, スタッド パイプ	19.472								
	18.716								
	17.179								
	16.506								
炉心 シュラ ウド	15.641								
	15.266								
	14.433								
	13.721								
	13.009								
	12.297								
	11.585								
	10.873								
	10.161								
	9.645								
	10.161								
	9.645								
	9.402								
	8.395								
7.388									
6.795									
原子炉 冷却材 再循環 ポンプ	6.253								
	5.376								
	4.523								
	3.671								

表 I (3) - 1. 2 炉内構造物系の地震応答解析モデル (時刻歴フロー)

せん断力 EW 方向

部位	T.M.S.L. (m)	Ss-1×1	Ss-2×1	Ss-3×1	Ss-4×1	Ss-5×1	Ss-6×1	Ss-7×1	Ss-8×1
		+ 1/3Sd-1×5 + NCO	+ 1/3Sd-2×5 + NCO	+ 1/3Sd-3×5 + NCO	+ 1/3Sd-4×5 + NCO	+ 1/3Sd-5×5 + NCO	+ 1/3Sd-6×5 + NCO	+ 1/3Sd-7×5 + NCO	+ 1/3Sd-8×5 + NCO
燃料 集合体	14.433								
	13.721								
	13.009								
	12.297								
	11.585								
	10.873								
	10.161								
制御棒 案内管	10.161								
	9.645								
	9.402								
	8.395								
	7.388								
	6.795								
	6.347								
制御棒 駆動機 構 ハウジ ング	6.347								
	5.817								
	5.066								
制御棒 駆動機 構 ハウジ ング (内側)	4.213								
	3.361								
	2.508								
	1.655								
	0.934								
	0.184								
制御棒 駆動機 構 ハウジ ング (外側)	5.817								
	5.066								
	4.213								
	3.361								
	2.508								
	1.655								
	0.934								
0.184									

表 I (3) - 1. 2 炉内構造物系の地震応答解析モデル (時刻歴フロー)

せん断力 EW 方向

部位	T.M.S.L. (m)	Ss-1×1	Ss-2×1	Ss-3×1	Ss-4×1	Ss-5×1	Ss-6×1	Ss-7×1	Ss-8×1
		+ 1/3Sd-1×5 + NCO	+ 1/3Sd-2×5 + NCO	+ 1/3Sd-3×5 + NCO	+ 1/3Sd-4×5 + NCO	+ 1/3Sd-5×5 + NCO	+ 1/3Sd-6×5 + NCO	+ 1/3Sd-7×5 + NCO	+ 1/3Sd-8×5 + NCO
気水分 離器, スタント, パイプ	19.472								
	18.716								
	17.179								
	16.506								
炉心 シュラ ウド	15.641								
	15.266								
	14.433								
	13.721								
	13.009								
	12.297								
	11.585								
	10.873								
	10.161								
	9.645								
	10.161								
	9.645								
	9.402								
	8.395								
7.388									
6.795									
原子炉 冷却材 再循環 ポンプ	6.253								
	5.376								
	4.523								
	3.671								

表 I (3) - 1. 3 炉内構造物系の地震応答解析モデル (時刻歴フロー)
モーメント NS 方向

部位	T.M.S.L. (m)	Ss-1×1	Ss-2×1	Ss-3×1	Ss-4×1	Ss-5×1	Ss-6×1	Ss-7×1	Ss-8×1
		+ 1/3Sd-1×5 + NCO	+ 1/3Sd-2×5 + NCO	+ 1/3Sd-3×5 + NCO	+ 1/3Sd-4×5 + NCO	+ 1/3Sd-5×5 + NCO	+ 1/3Sd-6×5 + NCO	+ 1/3Sd-7×5 + NCO	+ 1/3Sd-8×5 + NCO
燃料 集合体	14.433								
	13.721								
	13.009								
	12.297								
	11.585								
	10.873								
	10.161								
制御棒 案内管	10.161								
	9.645								
	9.402								
	8.395								
	7.388								
	6.795								
	6.347								
制御棒 駆動機 構 ハウジ ング	6.347								
	5.817								
	5.066								
制御棒 駆動機 構 ハウジ ング (内側)	4.213								
	3.361								
	2.508								
	1.655								
	0.934								
	0.184								

表 I (3) - 1. 3 炉内構造物系の地震応答解析モデル (時刻歴フロー)
モーメント NS 方向

部位	T.M.S.L. (m)	Ss-1×1	Ss-2×1	Ss-3×1	Ss-4×1	Ss-5×1	Ss-6×1	Ss-7×1	Ss-8×1
		+ 1/3Sd-1×5 + NCO	+ 1/3Sd-2×5 + NCO	+ 1/3Sd-3×5 + NCO	+ 1/3Sd-4×5 + NCO	+ 1/3Sd-5×5 + NCO	+ 1/3Sd-6×5 + NCO	+ 1/3Sd-7×5 + NCO	+ 1/3Sd-8×5 + NCO
制御棒 駆動機 構 ハウジ ング (外側)	5.817								
	5.066								
	4.213								
	3.361								
	2.508								
	1.655								
	0.934								
0.184									
気水分 離器, スタブ パイプ	19.472								
	18.716								
	17.179								
	16.506								
炉心シ ュラウ ド	15.641								
	15.266								
	14.433								
	13.721								
	13.009								
	12.297								
	11.585								
	10.873								
	10.161								
	9.645								
	10.161								
	9.645								
	9.402								
	8.395								
7.388									
6.795									

表 I (3) - 1. 3 炉内構造物系の地震応答解析モデル (時刻歴フロー)
モーメント NS 方向

部位	T.M.S.L. (m)	Ss-1×1 + 1/3Sd-1×5 + NCO	Ss-2×1 + 1/3Sd-2×5 + NCO	Ss-3×1 + 1/3Sd-3×5 + NCO	Ss-4×1 + 1/3Sd-4×5 + NCO	Ss-5×1 + 1/3Sd-5×5 + NCO	Ss-6×1 + 1/3Sd-6×5 + NCO	Ss-7×1 + 1/3Sd-7×5 + NCO	Ss-8×1 + 1/3Sd-8×5 + NCO
原子炉 冷却材 再循環 ポンプ	6.253								
	5.376								
	4.523								
	3.671								

表 I (3) - 1. 4 炉内構造物系の地震応答解析モデル (時刻歴フロー)
モーメント EW 方向

部位	T.M.S.L (m)	Ss-1×1	Ss-2×1	Ss-3×1	Ss-4×1	Ss-5×1	Ss-6×1	Ss-7×1	Ss-8×1
		+ 1/3Sd-1×5 + NCO	+ 1/3Sd-2×5 + NCO	+ 1/3Sd-3×5 + NCO	+ 1/3Sd-4×5 + NCO	+ 1/3Sd-5×5 + NCO	+ 1/3Sd-6×5 + NCO	+ 1/3Sd-7×5 + NCO	+ 1/3Sd-8×5 + NCO
燃料 集合体	14.433								
	13.721								
	13.009								
	12.297								
	11.585								
	10.873								
	10.161								
制御棒 案内管	10.161								
	9.645								
	9.402								
	8.395								
	7.388								
	6.795								
	6.347								
制御棒 駆動機 構 ハウジ ング	6.347								
	5.817								
	5.066								
制御棒 駆動機 構 ハウジ ング (内側)	4.213								
	3.361								
	2.508								
	1.655								
	0.934								
	0.184								

表 I (3) - 1. 4 炉内構造物系の地震応答解析モデル (時刻歴フロー)
モーメント EW 方向

部位	T.M.S.L (m)	Ss-1×1	Ss-2×1	Ss-3×1	Ss-4×1	Ss-5×1	Ss-6×1	Ss-7×1	Ss-8×1
		+ 1/3Sd-1×5 + NCO	+ 1/3Sd-2×5 + NCO	+ 1/3Sd-3×5 + NCO	+ 1/3Sd-4×5 + NCO	+ 1/3Sd-5×5 + NCO	+ 1/3Sd-6×5 + NCO	+ 1/3Sd-7×5 + NCO	+ 1/3Sd-8×5 + NCO
制御棒 駆動機 構 ハウジ ング (外側)	5.817								
	5.066								
	4.213								
	3.361								
	2.508								
	1.655								
	0.934								
	0.184								
気水分 離器, スタブ パイプ	19.472								
	18.716								
	17.179								
炉心シ ュラウ ド	16.506								
	15.641								
	15.266								
	14.433								
	13.721								
	13.009								
	12.297								
	11.585								
	10.873								
	10.161								
	9.645								
	10.161								
	9.645								
	9.402								
	8.395								
7.388									
6.795									

表 I (3) - 1. 4 炉内構造物系の地震応答解析モデル (時刻歴フロー)
モーメント EW 方向

部位	T.M.S.L (m)	Ss-1×1	Ss-2×1	Ss-3×1	Ss-4×1	Ss-5×1	Ss-6×1	Ss-7×1	Ss-8×1
		+ 1/3Sd-1×5 + NCO	+ 1/3Sd-2×5 + NCO	+ 1/3Sd-3×5 + NCO	+ 1/3Sd-4×5 + NCO	+ 1/3Sd-5×5 + NCO	+ 1/3Sd-6×5 + NCO	+ 1/3Sd-7×5 + NCO	+ 1/3Sd-8×5 + NCO
原子炉冷却材 再循環ポンプ	6.253								
	5.376								
	4.523								
	3.671								

表 I (3) - 1. 5 炉内構造物系の地震応答解析モデル (時刻歴フロー)
軸力 UD 方向

部位	T.M.S.L. (m)	Ss-1×1 + 1/3Sd-1×5 + NCO	Ss-2×1 + 1/3Sd-2×5 + NCO	Ss-3×1 + 1/3Sd-3×5 + NCO	Ss-4×1 + 1/3Sd-4×5 + NCO	Ss-5×1 + 1/3Sd-5×5 + NCO	Ss-6×1 + 1/3Sd-6×5 + NCO	Ss-7×1 + 1/3Sd-7×5 + NCO	Ss-8×1 + 1/3Sd-8×5 + NCO
燃料 集合体	14.433								
	13.721								
	13.009								
	12.297								
	11.585								
	10.873								
	10.161								
制御棒 案内管	9.645								
	9.402								
	8.395								
	7.388								
	6.795								
	6.347								
制御棒 駆動機 構 ハウジ ング	6.347								
	5.817								
制御棒 駆動機 構 ハウジ ング (内側)	5.066								
	4.213								
	3.361								
	2.508								
	1.655								
	0.934								
制御棒 駆動機 構 ハウジ ング (外側)	0.184								
	5.817								
	5.066								
	4.213								
	3.361								
	2.508								
	1.655								
	0.934								
0.184									

表 I (3) - 1. 5 炉内構造物系の地震応答解析モデル (時刻歴フロー)
軸力 UD 方向

部位	T.M.S.L. (m)	Ss-1×1 + 1/3Sd-1×5 + NCO	Ss-2×1 + 1/3Sd-2×5 + NCO	Ss-3×1 + 1/3Sd-3×5 + NCO	Ss-4×1 + 1/3Sd-4×5 + NCO	Ss-5×1 + 1/3Sd-5×5 + NCO	Ss-6×1 + 1/3Sd-6×5 + NCO	Ss-7×1 + 1/3Sd-7×5 + NCO	Ss-8×1 + 1/3Sd-8×5 + NCO
気水分 離器, スタント パイプ	19.472								
	18.716								
	17.179								
	16.506								
炉心シ ュラウ ド	15.641								
	15.266								
	14.433								
	13.721								
	13.009								
	12.297								
	11.585								
	10.873								
	10.161								
	9.645								
	9.402								
	8.395								
	7.388								
	6.795								
6.347									
5.783									
原子炉冷 却材 再循環ポ ンプ	6.253								
	5.376								
	4.523								
	3.671								

表 I (3) - 2. 1 炉内構造物系の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー)

部位	T.M.S.L. (m)	減衰定数 (%)	$S_s-3 \times 1$ $+$ $1/3 S_d-3 \times 5$ $+$ NCO		
			NS	EW	UD
炉心シュラウド	14.433	5.0			
		4.0			
		3.0			
		2.5			
		2.0			
		1.5			
		1.0			
	0.5				
	NS・EW 10.161 UD 9.645	5.0			
		4.0			
		3.0			
		2.5			
		2.0			
		1.5			
1.0					
0.5					
原子炉圧力容器	5.066	5.0			
		4.0			
		3.0			
		2.5			
		2.0			
		1.5			
		1.0			
0.5					
原子炉冷却材再 循環ポンプ	6.253	5.0			
		4.0			
		3.0			
		2.5			
		2.0			
		1.5			
		1.0			
0.5					

(炉内構造物系の地震応答解析モデルでの算出結果から、 S_s-3 系による地震動を代表して記載。)

(4) タービン建屋の地震応答解析モデル

表 I (4) - 1 タービン建屋の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー) NS 方向

部位	T.M.S.L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-1×1	Ss-2×1	Ss-3×1	Ss-4×1	Ss-5×1	Ss-6×1	Ss-7×1	Ss-8×1
			+ 1/3Sd-1 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-2 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-3 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-4 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-5 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-6 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-7 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-8 ×5 +NCO
タービン 建屋	44.300	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	38.600	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	30.900	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	25.800	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
20.400	5.0									
	4.0									
	3.0									
	2.5									
	2.0									
	1.5									
	1.0									
	0.5									

表 I (4) - 1 タービン建屋の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー) NS 方向

部位	T.M.S.L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-1×1	Ss-2×1	Ss-3×1	Ss-4×1	Ss-5×1	Ss-6×1	Ss-7×1	Ss-8×1
			+ 1/3Sd-1 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-2 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-3 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-4 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-5 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-6 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-7 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-8 ×5 +NCO
タービン 建屋 (続き)	12.300	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	4.900	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	-1.100	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	-5.100	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
2.0										
1.5										
1.0										
0.5										
蒸気タ ービン の基礎	18.350	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								

表 I (4) - 1 タービン建屋の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー) NS 方向

部位	T.M.S.L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-1×1 + 1/3Sd-1 ×5 +NCO	Ss-2×1 + 1/3Sd-2 ×5 +NCO	Ss-3×1 + 1/3Sd-3 ×5 +NCO	Ss-4×1 + 1/3Sd-4 ×5 +NCO	Ss-5×1 + 1/3Sd-5 ×5 +NCO	Ss-6×1 + 1/3Sd-6 ×5 +NCO	Ss-7×1 + 1/3Sd-7 ×5 +NCO	Ss-8×1 + 1/3Sd-8 ×5 +NCO	
蒸気タービンの基礎 (続き)	10.700	5.0									
		4.0									
		3.0									
		2.5									
		2.0									
		1.5									
		1.0									
		0.5									

表 I (4) - 2 タービン建屋の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー) EW 方向

部位	T.M.S.L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-1×1 + 1/3Sd-1 ×5 +NCO	Ss-2×1 + 1/3Sd-2 ×5 +NCO	Ss-3×1 + 1/3Sd-3 ×5 +NCO	Ss-4×1 + 1/3Sd-4 ×5 +NCO	Ss-5×1 + 1/3Sd-5 ×5 +NCO	Ss-6×1 + 1/3Sd-6 ×5 +NCO	Ss-7×1 + 1/3Sd-7 ×5 +NCO	Ss-8×1 + 1/3Sd-8 ×5 +NCO	
タービン 建屋	44.300	5.0									
		4.0									
		3.0									
		2.5									
		2.0									
		1.5									
		1.0									
		0.5									
	38.600	5.0									
		4.0									
		3.0									
		2.5									
		2.0									
		1.5									
		1.0									
		0.5									
	30.900	5.0									
		4.0									
		3.0									
		2.5									
		2.0									
		1.5									
		1.0									
		0.5									
	25.800	5.0									
		4.0									
		3.0									
		2.5									
		2.0									
		1.5									
		1.0									
		0.5									
20.400	5.0										
	4.0										
	3.0										
	2.5										
	2.0										
	1.5										
	1.0										
	0.5										

表 I (4) - 2 タービン建屋の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー) EW 方向

部位	T.M.S.L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-1×1 + 1/3Sd-1 ×5 +NCO	Ss-2×1 + 1/3Sd-2 ×5 +NCO	Ss-3×1 + 1/3Sd-3 ×5 +NCO	Ss-4×1 + 1/3Sd-4 ×5 +NCO	Ss-5×1 + 1/3Sd-5 ×5 +NCO	Ss-6×1 + 1/3Sd-6 ×5 +NCO	Ss-7×1 + 1/3Sd-7 ×5 +NCO	Ss-8×1 + 1/3Sd-8 ×5 +NCO	
タービン建屋 (続き)	12.300	5.0									
		4.0									
		3.0									
		2.5									
		2.0									
		1.5									
		1.0									
		0.5									
	4.900	5.0									
		4.0									
		3.0									
		2.5									
		2.0									
		1.5									
		1.0									
		0.5									
	-1.100	5.0									
		4.0									
		3.0									
		2.5									
		2.0									
		1.5									
		1.0									
		0.5									
	-5.100	5.0									
		4.0									
		3.0									
		2.5									
2.0											
1.5											
1.0											
0.5											
蒸気タービンの基礎	18.350	5.0									
		4.0									
		3.0									
		2.5									
		2.0									
		1.5									
		1.0									
		0.5									

表 I (4) - 2 タービン建屋の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー) EW 方向

部位	T.M.S.L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-1×1 + 1/3Sd-1 ×5 +NCO	Ss-2×1 + 1/3Sd-2 ×5 +NCO	Ss-3×1 + 1/3Sd-3 ×5 +NCO	Ss-4×1 + 1/3Sd-4 ×5 +NCO	Ss-5×1 + 1/3Sd-5 ×5 +NCO	Ss-6×1 + 1/3Sd-6 ×5 +NCO	Ss-7×1 + 1/3Sd-7 ×5 +NCO	Ss-8×1 + 1/3Sd-8 ×5 +NCO	
蒸気タービンの基礎 (続き)	10.700	5.0									
		4.0									
		3.0									
		2.5									
		2.0									
		1.5									
		1.0									
		0.5									

表 I (4) - 3 タービン建屋の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー) UD 方向

部位	T.M.S.L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-1×1	Ss-2×1	Ss-3×1	Ss-4×1	Ss-5×1	Ss-6×1	Ss-7×1	Ss-8×1
			+ 1/3Sd-1 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-2 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-3 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-4 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-5 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-6 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-7 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-8 ×5 +NCO
タービン 建屋	44.300	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	38.600	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	30.900	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	25.800	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
20.400	5.0									
	4.0									
	3.0									
	2.5									
	2.0									
	1.5									
	1.0									
	0.5									

表 I (4) - 3 タービン建屋の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー) UD 方向

部位	T.M.S.L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-1×1	Ss-2×1	Ss-3×1	Ss-4×1	Ss-5×1	Ss-6×1	Ss-7×1	Ss-8×1
			+ 1/3Sd-1 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-2 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-3 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-4 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-5 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-6 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-7 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-8 ×5 +NCO
タービン 建屋 (続き)	12.300	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	4.900	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	-1.100	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
-5.100	5.0									
	4.0									
	3.0									
	2.5									
	2.0									
	1.5									
	1.0									
	0.5									
蒸気ター ビンの基礎	20.400	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								

表 I (4) - 3 タービン建屋の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー) UD 方向

部位	T.M.S.L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-1×1 + 1/3Sd-1 ×5 +NCO	Ss-2×1 + 1/3Sd-2 ×5 +NCO	Ss-3×1 + 1/3Sd-3 ×5 +NCO	Ss-4×1 + 1/3Sd-4 ×5 +NCO	Ss-5×1 + 1/3Sd-5 ×5 +NCO	Ss-6×1 + 1/3Sd-6 ×5 +NCO	Ss-7×1 + 1/3Sd-7 ×5 +NCO	Ss-8×1 + 1/3Sd-8 ×5 +NCO
蒸気タービンの基礎 (続き)	12.300	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
0.5										

(5) コントロール建屋の地震応答解析モデル

表 I (5) - 1 コントロール建屋の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー)
NS 方向

部位	T.M.S.L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-1×1 + 1/3Sd-1 ×5 +NCO	Ss-2×1 + 1/3Sd-2 ×5 +NCO	Ss-3×1 + 1/3Sd-3 ×5 +NCO	Ss-4×1 + 1/3Sd-4 ×5 +NCO	Ss-5×1 + 1/3Sd-5 ×5 +NCO	Ss-6×1 + 1/3Sd-6 ×5 +NCO	Ss-7×1 + 1/3Sd-7 ×5 +NCO	Ss-8×1 + 1/3Sd-8 ×5 +NCO	
コントロール 建屋	24.100	5.0									
		4.0									
		3.0									
		2.5									
		2.0									
		1.5									
		1.0									
		0.5									
	17.300	5.0									
		4.0									
		3.0									
		2.5									
		2.0									
		1.5									
		1.0									
		0.5									
	12.300	5.0									
		4.0									
		3.0									
		2.5									
		2.0									
		1.5									
		1.0									
		0.5									
	6.500	5.0									
		4.0									
		3.0									
		2.5									
		2.0									
		1.5									
		1.0									
		0.5									
1.000	5.0										
	4.0										
	3.0										
	2.5										
	2.0										
	1.5										
	1.0										
	0.5										

表 I (5) - 1 コントロール建屋の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー)
NS 方向

部位	T.M.S.L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-1×1 + 1/3Sd-1 ×5 +NCO	Ss-2×1 + 1/3Sd-2 ×5 +NCO	Ss-3×1 + 1/3Sd-3 ×5 +NCO	Ss-4×1 + 1/3Sd-4 ×5 +NCO	Ss-5×1 + 1/3Sd-5 ×5 +NCO	Ss-6×1 + 1/3Sd-6 ×5 +NCO	Ss-7×1 + 1/3Sd-7 ×5 +NCO	Ss-8×1 + 1/3Sd-8 ×5 +NCO	
コント ロール 建屋 (続き)	-2.700	5.0									
		4.0									
		3.0									
		2.5									
		2.0									
		1.5									
		1.0									
0.5											

表 I (5) - 2 コントロール建屋の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー)
EW 方向

部位	T.M.S.L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-1×1	Ss-2×1	Ss-3×1	Ss-4×1	Ss-5×1	Ss-6×1	Ss-7×1	Ss-8×1
			+ 1/3Sd-1 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-2 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-3 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-4 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-5 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-6 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-7 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-8 ×5 +NCO
コントロール 建屋	24.100	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	17.300	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	12.300	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	6.500	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	1.000	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
2.0										
1.5										
1.0										
0.5										

表 I (5) - 2 コントロール建屋の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー)
EW 方向

部位	T.M.S.L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-1×1 + 1/3Sd-1 ×5 +NCO	Ss-2×1 + 1/3Sd-2 ×5 +NCO	Ss-3×1 + 1/3Sd-3 ×5 +NCO	Ss-4×1 + 1/3Sd-4 ×5 +NCO	Ss-5×1 + 1/3Sd-5 ×5 +NCO	Ss-6×1 + 1/3Sd-6 ×5 +NCO	Ss-7×1 + 1/3Sd-7 ×5 +NCO	Ss-8×1 + 1/3Sd-8 ×5 +NCO	
コントロール 建屋 (続き)	-2.700	5.0									
		4.0									
		3.0									
		2.5									
		2.0									
		1.5									
		1.0									
0.5											

表 I (5) - 3 コントロール建屋の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー)
UD 方向

部位	T.M.S.L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-1×1	Ss-2×1	Ss-3×1	Ss-4×1	Ss-5×1	Ss-6×1	Ss-7×1	Ss-8×1
			+ 1/3Sd-1 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-2 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-3 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-4 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-5 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-6 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-7 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-8 ×5 +NCO
コントロール 建屋	24.100	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	17.300	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	12.300	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	6.500	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
1.000	5.0									
	4.0									
	3.0									
	2.5									
	2.0									
	1.5									
	1.0									
	0.5									

表 I (5) - 3 コントロール建屋の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー)
UD 方向

部位	T.M.S.L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-1×1 + 1/3Sd-1 ×5 +NCO	Ss-2×1 + 1/3Sd-2 ×5 +NCO	Ss-3×1 + 1/3Sd-3 ×5 +NCO	Ss-4×1 + 1/3Sd-4 ×5 +NCO	Ss-5×1 + 1/3Sd-5 ×5 +NCO	Ss-6×1 + 1/3Sd-6 ×5 +NCO	Ss-7×1 + 1/3Sd-7 ×5 +NCO	Ss-8×1 + 1/3Sd-8 ×5 +NCO	
コント ロール 建 屋 (続き)	-2.700	5.0									
		4.0									
		3.0									
		2.5									
		2.0									
		1.5									
		1.0									
		0.5									

(6) 廃棄物処理建屋の地震応答解析モデル

表 I (6) - 1 廃棄物処理建屋の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー)
NS 方向

部位	T.M.S.L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-1×1 + 1/3Sd-1 ×5 +NCO	Ss-2×1 + 1/3Sd-2 ×5 +NCO	Ss-3×1 + 1/3Sd-3 ×5 +NCO	Ss-4×1 + 1/3Sd-4 ×5 +NCO	Ss-5×1 + 1/3Sd-5 ×5 +NCO	Ss-6×1 + 1/3Sd-6 ×5 +NCO	Ss-7×1 + 1/3Sd-7 ×5 +NCO	Ss-8×1 + 1/3Sd-8 ×5 +NCO	
廃棄物 処理建 屋	44.300	5.0									
		4.0									
		3.0									
		2.5									
		2.0									
		1.5									
		1.0									
		0.5									
	36.700	5.0									
		4.0									
		3.0									
		2.5									
		2.0									
		1.5									
		1.0									
		0.5									
	30.900	5.0									
		4.0									
		3.0									
		2.5									
		2.0									
		1.5									
		1.0									
		0.5									
	30.400	5.0									
		4.0									
		3.0									
		2.5									
		2.0									
		1.5									
		1.0									
		0.5									
20.400	5.0										
	4.0										
	3.0										
	2.5										
	2.0										
	1.5										
	1.0										
	0.5										

表 I (6) - 1 廃棄物処理建屋の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー)
NS 方向

部位	T.M.S.L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-1×1	Ss-2×1	Ss-3×1	Ss-4×1	Ss-5×1	Ss-6×1	Ss-7×1	Ss-8×1
			+ 1/3Sd-1 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-2 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-3 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-4 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-5 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-6 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-7 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-8 ×5 +NCO
廃棄物 処理建 屋 (続 き)	12.300	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	6.500	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	-1.100	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	-6.100	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								

表 I (6) - 2 廃棄物処理建屋の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー)
EW 方向

部位	T.M.S.L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-1×1	Ss-2×1	Ss-3×1	Ss-4×1	Ss-5×1	Ss-6×1	Ss-7×1	Ss-8×1
			+ 1/3Sd-1 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-2 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-3 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-4 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-5 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-6 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-7 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-8 ×5 +NCO
廃棄物 処理建 屋	44.300	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	36.700	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	30.900	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	30.400	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	20.400	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
2.0										
1.5										
1.0										
0.5										

表 I (6) - 2 廃棄物処理建屋の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー)
EW 方向

部位	T.M.S.L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-1×1 + 1/3Sd-1 ×5 +NCO	Ss-2×1 + 1/3Sd-2 ×5 +NCO	Ss-3×1 + 1/3Sd-3 ×5 +NCO	Ss-4×1 + 1/3Sd-4 ×5 +NCO	Ss-5×1 + 1/3Sd-5 ×5 +NCO	Ss-6×1 + 1/3Sd-6 ×5 +NCO	Ss-7×1 + 1/3Sd-7 ×5 +NCO	Ss-8×1 + 1/3Sd-8 ×5 +NCO	
廃棄物 処理建 屋 (続 き)	12.300	5.0									
		4.0									
		3.0									
		2.5									
		2.0									
		1.5									
		1.0									
		0.5									
	6.500	5.0									
		4.0									
		3.0									
		2.5									
		2.0									
		1.5									
		1.0									
		0.5									
	-1.100	5.0									
		4.0									
		3.0									
		2.5									
		2.0									
		1.5									
		1.0									
		0.5									
	-6.100 1	5.0									
		4.0									
		3.0									
		2.5									
2.0											
1.5											
1.0											
0.5											

表 I (6) - 3 廃棄物処理建屋の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー)
UD 方向

部位	T.M.S.L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-1×1	Ss-2×1	Ss-3×1	Ss-4×1	Ss-5×1	Ss-6×1	Ss-7×1	Ss-8×1
			+ 1/3Sd-1 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-2 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-3 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-4 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-5 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-6 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-7 ×5 +NCO	+ 1/3Sd-8 ×5 +NCO
廃棄物 処理建 屋	44.300	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	36.700	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	30.900	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	30.400	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
		2.0								
		1.5								
		1.0								
		0.5								
	20.400	5.0								
		4.0								
		3.0								
		2.5								
2.0										
1.5										
1.0										
0.5										

表 I (6) - 3 廃棄物処理建屋の地震応答解析モデル (応答スペクトルフロー)
UD 方向

部位	T.M.S.L. (m)	減衰 定数 (%)	Ss-1×1 + 1/3Sd-1 ×5 +NCO	Ss-2×1 + 1/3Sd-2 ×5 +NCO	Ss-3×1 + 1/3Sd-3 ×5 +NCO	Ss-4×1 + 1/3Sd-4 ×5 +NCO	Ss-5×1 + 1/3Sd-5 ×5 +NCO	Ss-6×1 + 1/3Sd-6 ×5 +NCO	Ss-7×1 + 1/3Sd-7 ×5 +NCO	Ss-8×1 + 1/3Sd-8 ×5 +NCO	
廃棄物 処理建 屋 (続 き)	12.300	5.0									
		4.0									
		3.0									
		2.5									
		2.0									
		1.5									
		1.0									
		0.5									
	6.500	5.0									
		4.0									
		3.0									
		2.5									
		2.0									
		1.5									
		1.0									
		0.5									
	-1.100	5.0									
		4.0									
		3.0									
		2.5									
		2.0									
		1.5									
		1.0									
		0.5									
	-6.100	5.0									
		4.0									
		3.0									
		2.5									
		2.0									
		1.5									
		1.0									
		0.5									

II. 材料物性の不確かさを考慮する場合の条件

基本ケースの結果を踏まえ、等価繰返し回数が最大となる地震動、減衰定数に基づいて材料物性の不確かさ等の考慮を実施する。基本ケースでの結果として支配的な地震動であった「 $S_s - 3 \times 1$ 回 + $1/3 S_d - 3 \times 5$ 回 + NCO」とその回数が最大となった減衰定数を用いて算出条件を設定する。具体的には次頁以降の表の通りの条件で算出を行う。

なお、コントロール建屋は、材料物性の不確かさ等の検討に用いる地震動として $S_s - 1, 2$, $S_d - 1, 2$ を選定していること、また I. の結果より等価繰返し回数の算出において全ての床面で $S_s - 1$ 系での算出結果が $S_s - 2$ 系の算出結果を上回っていることから、「 $S_s - 1 \times 1$ 回 + $1/3 S_d - 1 \times 5$ 回 + NCO」を用いて基本ケースと材料物性の不確かさを考慮した場合の比率を算出し、その比率を $S_s - 3$ 系の基本ケースの結果に掛け合わせて検討を行う。

また、算出を行うフローは基本ケースの結果より、応答スペクトルフローの回数が大きくなることから、時刻歴フロー及び応答スペクトルフローの両フローでの算出が可能な炉内構造物系及び大型機器系の地震応答解析モデルは、応答スペクトルフローにて検討を行う。

表Ⅱ. 1 算出条件 (原子炉建屋の地震応答解析モデル)

項目	条件	備考
検討ケース	ケース 2~6	表Ⅱ.2 参照
JEAG フロー	応答スペクトルフロー	時刻歴フローより応答スペクトルフローの回数が大きいため
ピーク応力	1471MPa	基本ケースと同じ
固有周期	全固有周期帯(0.05s~1.0s)	基本ケースと同じ
対象床面	全床面	基本ケースと同じ
地震動	「 $S_s - 3 \times 1$ 回+ $1/3 S_d - 3 \times 5$ 回+NCO」	基本ケースで最大となる地震動
減衰定数(%)	0.5	基本ケースで最大となる減衰定数
設計疲労線図	炭素鋼	基本ケースと同じ

表Ⅱ. 2 検討ケース (原子炉建屋の地震応答解析モデル)

検討ケース	コンクリート剛性	回転ばね定数	地盤剛性	備考
①ケース 1 (工認モデル)	実強度 (43.1N/mm ²)	100%	標準地盤	基本ケース (I. で算出済)
②ケース 2 (建屋剛性+ σ , 地盤剛性+ σ)	実強度+ σ (46.0N/mm ²)	100%	標準地盤+ σ (砂層+13%, 古安田層+25%, 西山層+10%)	
③ケース 3 (建屋剛性- σ , 地盤剛性- σ)	実強度- σ (40.2N/mm ²)	100%	標準地盤- σ (砂層-13%, 古安田層-25%, 西山層-10%)	
④ケース 4 (建屋剛性コア平均)	実強度 (コア平均) (55.7N/mm ²)	100%	標準地盤	
⑤ケース 5 (建屋剛性- 2σ)	実強度- 2σ (37.2N/mm ²)	100%	標準地盤	
⑥ケース 6 (回転ばね低減)	実強度 (43.1N/mm ²)	50%	標準地盤	

V-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」 P98 に加筆

表Ⅱ. 3 算出条件 (大型機器系の地震応答解析モデル)

項目	条件	備考
検討ケース	ケース 2~8	表Ⅱ. 4 参照
JEAG フロー	応答スペクトルフロー	時刻歴フローより応答スペクトルフローの回数が大きいいため
ピーク応力	1471MPa	基本ケースと同じ
固有周期	全固有周期帯(0.05s~1.0s)	基本ケースと同じ
対象床面	全床面 (質点)	基本ケースと同じ。
地震動	「S s - 3 × 1 回 + 1/3 S d - 3 × 5 回 + N C O」	基本ケースで最大となる地震動
減衰定数(%)	2.0	基本ケースで最大となる減衰定数
設計疲労線図	炭素鋼	基本ケースと同じ

表Ⅱ. 4 検討ケース (大型機器系の地震応答解析モデル)

検討ケース	原子炉本体基礎とダイヤフラムフロアのコンクリート剛性		スケルトン曲線の設定方法	備考
	原子炉本体基礎	ダイヤフラムフロア		
①ケース 1 (工認モデル)	設計基準強度 (29.4N/mm ²)	設計基準強度 (32.3N/mm ²)	折線近似	基本ケース (I. で算出済)
②ケース 2 (建屋剛性 + σ , 地盤剛性 + σ)	設計基準強度 (29.4N/mm ²)	設計基準強度 (32.3N/mm ²)	折線近似	
③ケース 3 (建屋剛性 - σ , 地盤剛性 - σ)	設計基準強度 (29.4N/mm ²)	設計基準強度 (32.3N/mm ²)	折線近似	
④ケース 4 (建屋剛性 コア平均)	設計基準強度 (29.4N/mm ²)	設計基準強度 (32.3N/mm ²)	折線近似	
⑤ケース 5 (建屋剛性 - 2 σ)	設計基準強度 (29.4N/mm ²)	設計基準強度 (32.3N/mm ²)	折線近似	
⑥ケース 6 (回転ばね低減)	設計基準強度 (29.4N/mm ²)	設計基準強度 (32.3N/mm ²)	折線近似	
⑦ケース 7 (実強度)	実強度 (39.2N/mm ²)	実強度 (43.1N/mm ²)	折線近似	
⑧ケース 8 (曲線近似包絡)	設計基準強度 (29.4N/mm ²)	設計基準強度 (32.3N/mm ²)	折線近似 (曲線近似を包絡)	

(V-2-2-4「原子炉本体の基礎の地震応答計算書」P31 に加筆)

表Ⅱ. 5 算出条件 (炉内構造物系の地震応答解析モデル)

項目	条件	備考
検討ケース	ケース 2~8	表Ⅱ. 6 参照
JEAG フロー	応答スペクトルフロー	時刻歴フローより応答スペクトルフローの回数が大きいいため
ピーク応力	1471MPa	基本ケースと同じ
固有周期	全固有周期帯(0.05s~1.0s)	基本ケースと同じ
対象床面	全床面 (質点)	基本ケースと同じ
地震動	「S s - 3 × 1 回 + 1/3 S d - 3 × 5 回 + N C O」	基本ケースで最大となる地震動
減衰定数(%)	2.5	基本ケースで最大となる減衰定数
設計疲労線図	炭素鋼	基本ケースと同じ

表Ⅱ. 6 検討ケース (炉内構造物系の地震応答解析モデル)

検討ケース	原子炉本体基礎とダイヤフラムフロアのコンクリート剛性		スケルトン曲線の設定方法	備考
	原子炉本体基礎	ダイヤフラムフロア		
①ケース 1 (工認モデル)	設計基準強度 (29.4N/mm ²)	設計基準強度 (32.3N/mm ²)	折線近似	基本ケース (I. で算出済)
②ケース 2 (建屋剛性 + σ , 地盤剛性 + σ)	設計基準強度 (29.4N/mm ²)	設計基準強度 (32.3N/mm ²)	折線近似	
③ケース 3 (建屋剛性 - σ , 地盤剛性 - σ)	設計基準強度 (29.4N/mm ²)	設計基準強度 (32.3N/mm ²)	折線近似	
④ケース 4 (建屋剛性 コア平均)	設計基準強度 (29.4N/mm ²)	設計基準強度 (32.3N/mm ²)	折線近似	
⑤ケース 5 (建屋剛性 - 2 σ)	設計基準強度 (29.4N/mm ²)	設計基準強度 (32.3N/mm ²)	折線近似	
⑥ケース 6 (回転ばね低減)	設計基準強度 (29.4N/mm ²)	設計基準強度 (32.3N/mm ²)	折線近似	
⑦ケース 7 (実強度)	実強度 (39.2N/mm ²)	実強度 (43.1N/mm ²)	折線近似	
⑧ケース 8 (曲線近似包絡)	設計基準強度 (29.4N/mm ²)	設計基準強度 (32.3N/mm ²)	折線近似 (曲線近似を包絡)	

(V-2-3-1「炉心, 原子炉压力容器及び压力容器内部構造物の地震応答計算書」P45 に加筆)

表Ⅱ. 7 算出条件 (タービン建屋の地震応答解析モデル)

項目	条件	備考
検討ケース	ケース 2~5	表Ⅱ. 8 参照
JEAG フロー	応答スペクトルフロー	時刻歴フローより応答スペクトルフローの回数が大きいため
ピーク応力	1471MPa	基本ケースと同じ
固有周期	全固有周期帯(0.05s~1.0s)	基本ケースと同じ
対象床面	全床面	基本ケースと同じ
地震動	「S s - 3 × 1 回 + 1/3 S d - 3 × 5 回 + N C O」	基本ケースで最大となる地震動
減衰定数(%)	0.5	基本ケースで最大となる減衰定数
設計疲労線図	炭素鋼	基本ケースと同じ

表Ⅱ. 8 検討ケース (タービン建屋の地震応答解析モデル)

検討ケース	コンクリート剛性	地盤剛性	備考
①ケース 1 (工認モデル)	実強度 (43.1N/mm ²)	標準地盤	基本ケース (I. で算出済)
②ケース 2 (建屋剛性+σ, 地盤剛性+σ)	実強度+σ (46.0N/mm ²)	標準地盤+σ (砂層+13%, 古安田層+25%, 西山層+10%)	
③ケース 3 (建屋剛性-σ, 地盤剛性-σ)	実強度-σ (40.2N/mm ²)	標準地盤-σ (砂層-13%, 古安田層-25%, 西山層-10%)	
④ケース 4 (建屋剛性コア平均)	実強度 (コア平均) (55.7N/mm ²)	標準地盤	
⑤ケース 5 (建屋剛性-2σ)	実強度-2σ (37.2N/mm ²)	標準地盤	

(V-2-2-5「タービン建屋の地震応答計算書」P90 に加筆)

表Ⅱ. 9 算出条件 (コントロール建屋の地震応答解析モデル)

項目	条件	備考
検討ケース	ケース 2~6	表Ⅱ. 10 参照
JEAG フロー	応答スペクトルフロー	時刻歴フローより応答スペクトルフローの回数が大きいため
ピーク応力	1471MPa	基本ケースと同じ
固有周期	全固有周期帯(0.05s~1.0s)	基本ケースと同じ
対象床面	全床面	基本ケースと同じ
地震動	「S s - 1 × 1 回 + 1/3 S d - 1 × 5 回 + N C O」	
減衰定数(%)	0.5	基本ケースで最大となる減衰定数
設計疲労線図	炭素鋼	基本ケースと同じ

表Ⅱ. 10 検討ケース (コントロール建屋の地震応答解析モデル)

検討ケース	コンクリート剛性	回転ばね定数	地盤剛性	備考
①ケース 1 (工認モデル)	実強度 (43.1N/mm ²)	100%	標準地盤	基本ケース (I. で算出済)
②ケース 2 (建屋剛性 + σ , 地盤剛性 + σ)	実強度 + σ (46.0N/mm ²)	100%	標準地盤 + σ (砂層+13%, 古安田層+25%, 西山層+10%)	
③ケース 3 (建屋剛性 - σ , 地盤剛性 - σ)	実強度 - σ (40.2N/mm ²)	100%	標準地盤 - σ (砂層-13%, 古安田層-25%, 西山層-10%)	
④ケース 4 (建屋剛性コア平均)	実強度 (コア平均) (55.7N/mm ²)	100%	標準地盤	
⑤ケース 5 (建屋剛性 - 2 σ)	実強度 - 2 σ (37.2N/mm ²)	100%	標準地盤	
⑥ケース 6 (回転ばね低減)	実強度 (43.1N/mm ²)	50%	標準地盤	

(V-2-2-10 「コントロール建屋の地震応答計算書」 P94 に加筆)

表Ⅱ. 1 1 算出条件 (廃棄物処理建屋の地震応答解析モデル)

項目	条件	備考
検討ケース	ケース 2~5	表Ⅱ. 1 2 参照
JEAG フロー	応答スペクトルフロー	時刻歴フローより応答スペクトルフローの回数が大きいため
ピーク応力	1471MPa	基本ケースと同じ
固有周期	全固有周期帯(0.05s~1.0s)	基本ケースと同じ
対象床面	全床面	基本ケースと同じ
地震動	「S s - 3 × 1 回 + 1/3 S d - 3 × 5 回 + N C O」	基本ケースで最大となる地震動
減衰定数(%)	2.0	基本ケースで最大となる減衰定数
設計疲労線図	炭素鋼	基本ケースと同じ

表Ⅱ. 1 2 検討ケース (廃棄物処理建屋の地震応答解析モデル)

検討ケース	コンクリート剛性	地盤剛性	備考
①ケース 1 (工認モデル)	実強度 (43.1N/mm ²)	標準地盤	基本ケース (I. で算出済)
②ケース 2 (建屋剛性+σ, 地盤剛性+σ)	実強度+σ (46.0N/mm ²)	標準地盤+σ (砂層+13%, 古安田層+25%, 西山層+10%)	
③ケース 3 (建屋剛性-σ, 地盤剛性-σ)	実強度-σ (40.2N/mm ²)	標準地盤-σ (砂層-13%, 古安田層-25%, 西山層-10%)	
④ケース 4 (建屋剛性コア平均)	実強度 (コア平均) (55.7N/mm ²)	標準地盤	
⑤ケース 5 (建屋剛性-2σ)	実強度-2σ (37.2N/mm ²)	標準地盤	

(V-2-2-11「廃棄物処理建屋の地震応答計算書」P61 に加筆)

Ⅲ. 等価繰返し回数の算出結果（材料物性の不確かさ等の考慮）

(1) 原子炉建屋の地震応答解析モデル

表Ⅲ（1） 原子炉建屋の地震応答解析モデル（材料物性の不確かさ等の考慮）

部位	T.M.S.L. (m)	減衰 定数 (%)	方向	Ss-3 + 1/3Sd-3×5 + NCO						
				ケース1 基本 ケース	ケース2 建屋剛性 +σ 地盤剛性 +σ	ケース3 建屋剛性 -σ 地盤剛性 -σ	ケース4 建屋剛性 コア平均	ケース5 建屋剛性 -2σ	ケース6 回転ばね 低減	
原子炉 建屋	49.700	0.5	NS							
			EW							
			UD							
	38.200		NS							
			EW							
			UD							
	31.700		NS							
			EW							
			UD							
	23.500		NS							
			EW							
			UD							
	18.100		NS							
			EW							
			UD							
	12.300		NS							
			EW							
			UD							
	4.800		NS							
			EW							
			UD							
	-1.700		NS							
			EW							
			UD							
-8.200	NS									
	EW									
	UD									

(2) 大型機器連成系の地震応答解析モデル

表Ⅲ (2) 大型機器連成系の地震応答解析モデル (材料物性の不確かさ等考慮)

部位	T.M.S.L. (m)	減衰 定数 (%)	方向	Ss-3 + 1/3Sd-3×5 + NCO							
				ケース 1 (基本ケ ース)	ケース 2 (建屋剛 性+σ 地盤剛 性+σ)	ケース 3 (建屋剛 性-σ 地盤剛 性-σ)	ケース 4 建屋剛 性コア 平均	ケース 5 (建屋剛 性-2 σ)	ケース 6 (地盤回 転ばね 低減)	ケース 7 (実強 度)	ケース 8 (曲線近 似包絡)
原子炉 遮蔽壁	21.200	2.0	NS								
			EW								
			UD								
	18.440		NS								
			EW								
			UD								
	17.020		NS								
			EW								
			UD								
	15.600		NS								
			EW								
			UD								
13.950	NS										
	EW										
	UD										
原子炉 本体基 礎	12.300	NS									
		EW									
		UD									
	8.200	NS									
		EW									
		UD									
	7.000	NS									
		EW									
		UD									
	4.500	NS									
		EW									
		UD									
	3.500	NS									
		EW									
		UD									
	1.700	NS									
		EW									
		UD									
-2.100	NS										
	EW										
	UD										
-4.700	NS										
	EW										
	UD										
原子炉 圧力容 器	26.013	NS									
		EW									
		UD									

表Ⅲ（２） 大型機器連成系の地震応答解析モデル（材料物性の不確かさ等考慮）

部位	T.M.S.L. (m)	減衰 定数 (%)	方向	Ss-3 + 1/3Sd-3×5 + NCO									
				ケース 1 (基本ケ ース)	ケース 2 (建屋剛 性+σ 地盤剛 性+σ)	ケース 3 (建屋剛 性-σ 地盤剛 性-σ)	ケース 4 (建屋剛 性コア 平均)	ケース 5 (建屋剛 性-2 σ)	ケース 6 (地盤回 転ばね 低減)	ケース 7 (実強 度)	ケース 8 (曲線近 似包絡)		
原子炉 圧力容 器 (続き)	20.494	2.0	NS										
			EW										
			UD										
	NS・EW		NS										
	16.563		EW										
	UD		UD										
	16.506		NS										
	NS・EW		EW										
	15.262		UD										
	UD		NS										
	15.266		EW										
	NS・EW		UD										
4.950	NS												
UD	EW												
5.066	UD												

(3) 炉内構造物系の地震応答解析モデル

表Ⅲ (3) 炉内構造物系の地震応答解析モデル (材料物性の不確かさ等考慮)

部位	T.M.S.L. (m)	減衰 定数 (%)	方向	Ss-3 + 1/3Sd-3×5 + NCO							
				ケース1 (基本ケース)	ケース2 (建屋剛性+σ 地盤剛性+σ)	ケース3 (建屋剛性-σ 地盤剛性-σ)	ケース4 建屋剛性コア 平均	ケース5 (建屋剛性-2σ)	ケース6 (地盤回転ばね 低減)	ケース7 (実強度)	ケース8 (曲線近似包絡)
炉心シ ュラウ ド	14.433	2.5	NS								
			EW								
			UD								
	NS・EW 10.161 UD 9.645		NS								
			EW								
			UD								
原子炉 圧力容 器	5.066	NS									
		EW									
		UD									
原子炉 冷却材 再循環 ポンプ	6.253	NS									
		EW									
		UD									

(4) タービン建屋の地震応答解析モデル

表Ⅲ (4) タービン建屋の地震応答解析モデル (材料物性の不確かさ等考慮)

部位	T.M.S.L. (m)	減衰 定数 (%)	方向	Ss-3 + 1/3Sd-3×5 + NCO				
				ケース1 基本 ケース	ケース2 建屋剛性 +σ 地盤剛性 +σ	ケース3 建屋剛性 -σ 地盤剛性 -σ	ケース4 建屋剛性 コア平均	ケース5 建屋剛性 -2σ
タービン 建屋	44.300	0.5	NS					
			EW					
			UD					
	NS							
	EW							
	UD							
	NS							
	EW							
	UD							
	NS							
	EW							
	UD							
	NS							
	EW							
	UD							
	タービン 建屋		38.600					
EW								
UD								
NS								
EW								
UD								
NS								
EW								
UD								
NS								
EW								
UD								
NS								
EW								
UD								
タービン 建屋	30.900	0.5	NS					
			EW					
			UD					
	NS							
	EW							
	UD							
	NS							
	EW							
	UD							
	NS							
	EW							
	UD							
NS								
EW								
UD								
タービン 建屋	25.800		0.5					
		EW						
		UD						
	NS							
	EW							
	UD							
	NS							
	EW							
	UD							
	NS							
	EW							
	UD							
NS								
EW								
UD								
タービン 建屋	20.400	0.5		NS				
			EW					
			UD					
	NS							
	EW							
	UD							
	NS							
	EW							
	UD							
	NS							
	EW							
	UD							
NS								
EW								
UD								
タービン 建屋	12.300		0.5	NS				
		EW						
		UD						
	NS							
	EW							
	UD							
	NS							
	EW							
	UD							
	NS							
	EW							
	UD							
NS								
EW								
UD								
タービン 建屋	4.900	0.5		NS				
			EW					
			UD					
	NS							
	EW							
	UD							
	NS							
	EW							
	UD							
	NS							
	EW							
	UD							
NS								
EW								
UD								
タービン 建屋	-1.100		0.5	NS				
		EW						
		UD						
	NS							
	EW							
	UD							
	NS							
	EW							
	UD							
	NS							
	EW							
	UD							
NS								
EW								
UD								
タービン 建屋	-5.100	0.5		NS				
			EW					
			UD					
	NS							
	EW							
	UD							
	NS							
	EW							
	UD							
	NS							
	EW							
	UD							
NS								
EW								
UD								
蒸気タービンの基礎	NS・EW		0.5	NS				
	18.350	EW						
	UD	UD						
	20.400	NS						
	NS・EW	EW						
	10.700	UD						
UD	UD							
12.300								

(5) コントロール建屋の地震応答解析モデル

表Ⅲ (5) コントロール建屋の地震応答解析モデル (材料物性の不確かさ等考慮)

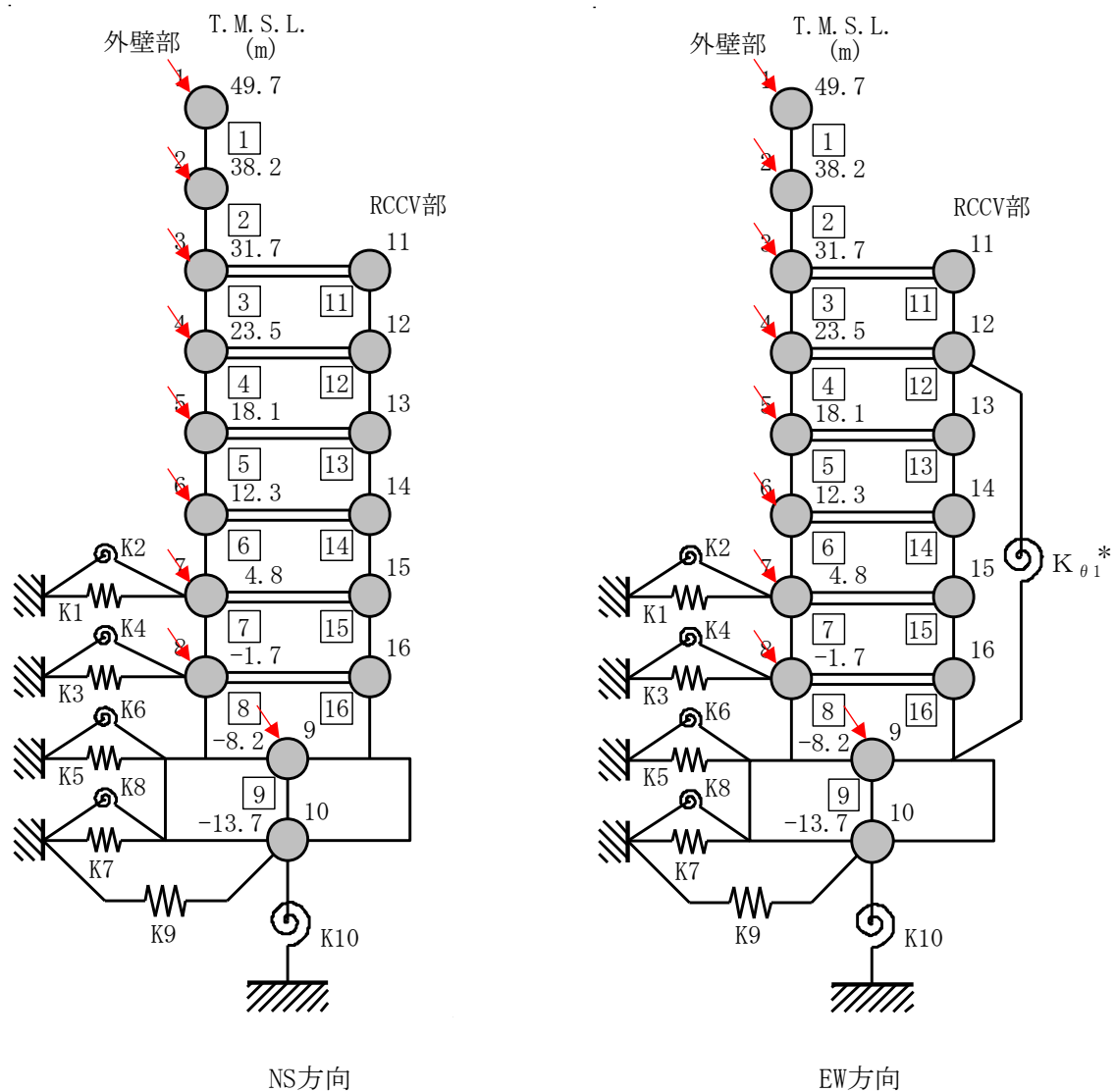
部位	T.M.S.L. (m)	減衰 定数 (%)	方向	Ss-1 + 1/3Sd-1×5 + NCO					
				ケース1 基本 ケース	ケース2 建屋剛性 +σ 地盤剛性 +σ	ケース3 建屋剛性 -σ 地盤剛性 -σ	ケース4 建屋剛性 コア平均	ケース5 建屋剛性 -2σ	ケース6 回転ばね 低減
コント ロール 建屋	24.100	0.5	NS						
			EW						
			UD						
	17.300		NS						
			EW						
			UD						
	12.300		NS						
			EW						
			UD						
	6.500		NS						
			EW						
			UD						
	1.000		NS						
			EW						
			UD						
-2.700	NS								
	EW								
	UD								

(6) 廃棄物処理建屋の地震応答解析モデル

表Ⅲ (6) 廃棄物処理建屋の地震応答解析モデル (材料物性の不確かさ等考慮)

部位	T.M.S.L. (m)	減衰 定数 (%)	方向	Ss-3 + 1/3Sd-3×5 + NCO				
				ケース1 基本 ケース	ケース2 建屋剛性 +σ 地盤剛性 +σ	ケース3 建屋剛性 -σ 地盤剛性 -σ	ケース4 建屋剛性 コア平均	ケース5 建屋剛性 -2σ
廃棄物 処理 建屋	44.300	2.0	NS					
			EW					
			UD					
	36.700		NS					
			EW					
			UD					
	30.900		NS					
			EW					
			UD					
	30.400		NS					
			EW					
			UD					
	20.400		NS					
			EW					
			UD					
	12.300		NS					
			EW					
			UD					
	6.500		NS					
			EW					
			UD					
	-1.100		NS					
			EW					
			UD					
-6.100	NS							
	EW							
	UD							

IV. 等価繰返し回数の算出位置

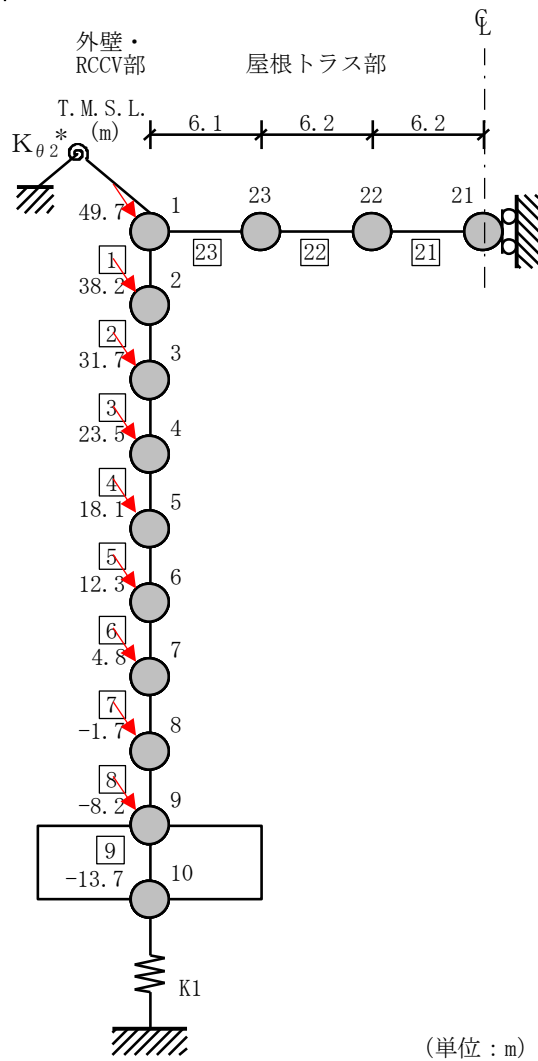


注記* : RCCV 回転ばね

—▶ : 算出床面 (応答スペクトルフロー)

(V-2-1-7 「設計用床応答曲線の作成方針」 P12 に加筆)

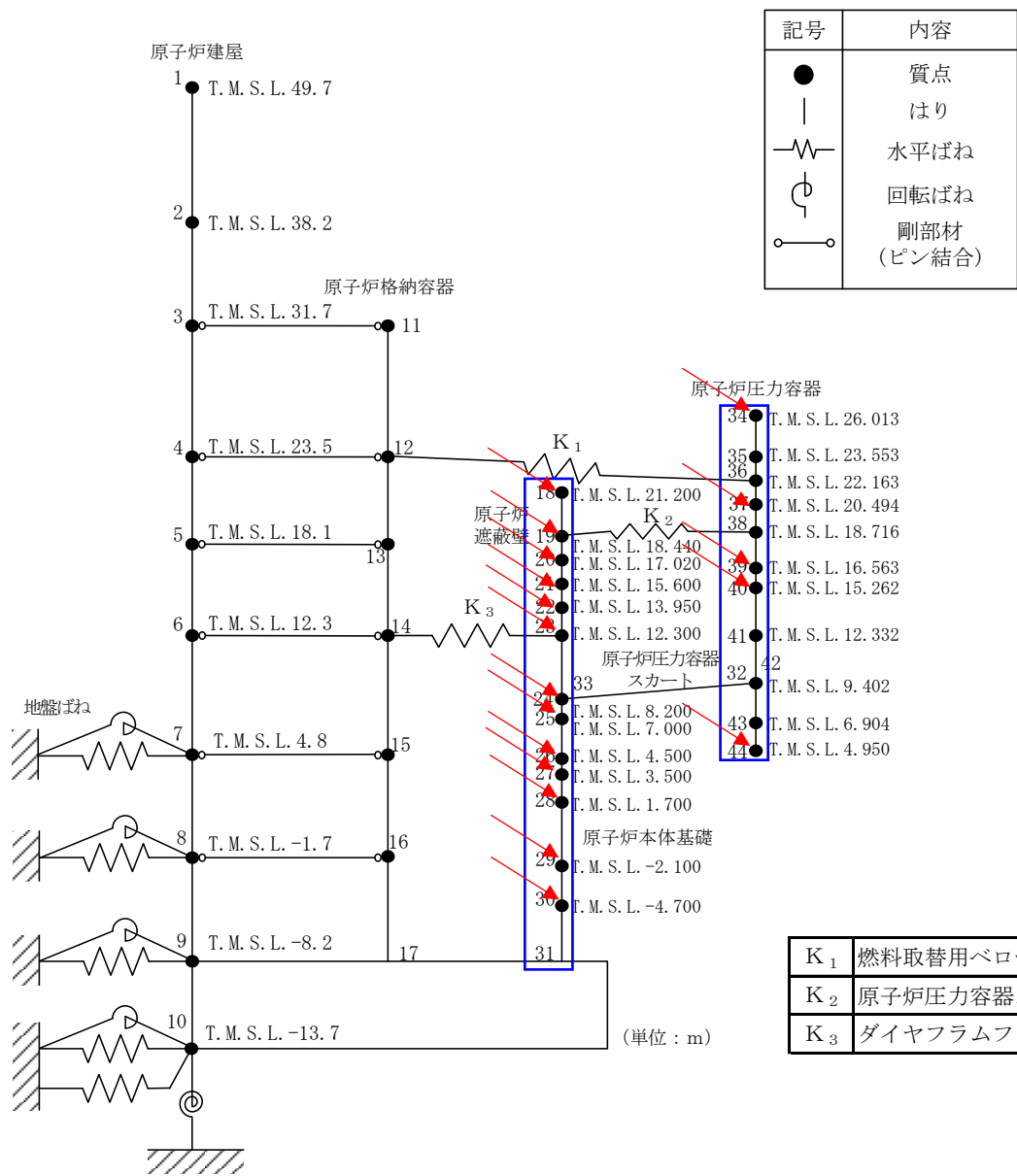
図IV (1) - 1 原子炉建屋地震の応答解析モデルでの算出位置 (水平方向)



注記* : 屋根トラス端部回転拘束ばね
 —▶ : 算出床面 (応答スペクトルフロー)

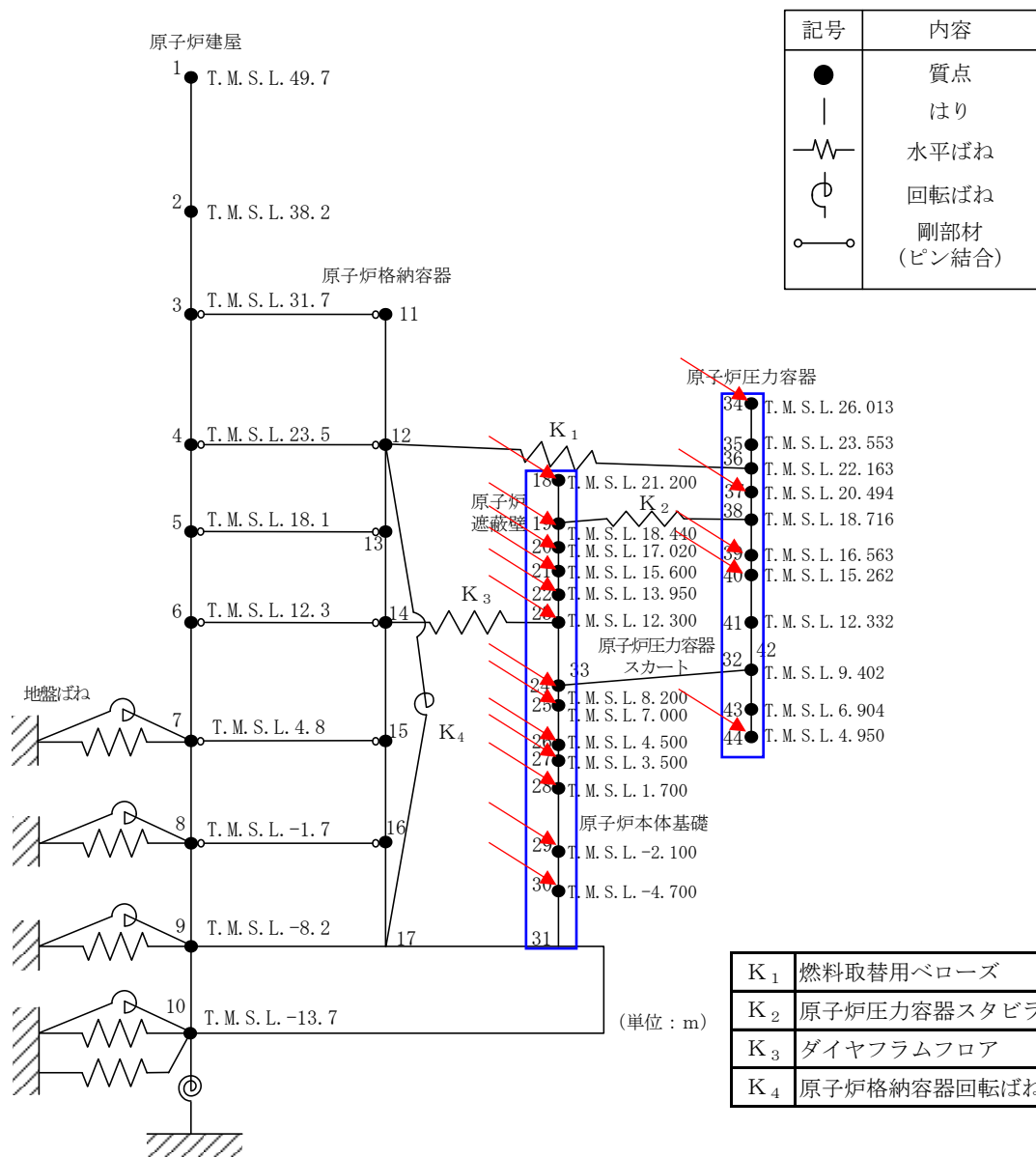
(V-2-1-7 「設計用床応答曲線の作成方針」 P13 に加筆)

図IV (1) - 2 原子炉建屋の地震応答解析モデルでの算出位置 (鉛直方向)



→ : 算出床面 (応答スペクトルフロー)
 □ : 算出質点 (時刻歴フロー)
 (V-2-1-7 「設計用床応答曲線の作成方針」 P14 に加筆)

図IV (2) - 1 大型機器系の地震応答解析モデルでの算出位置 (NS 方向)

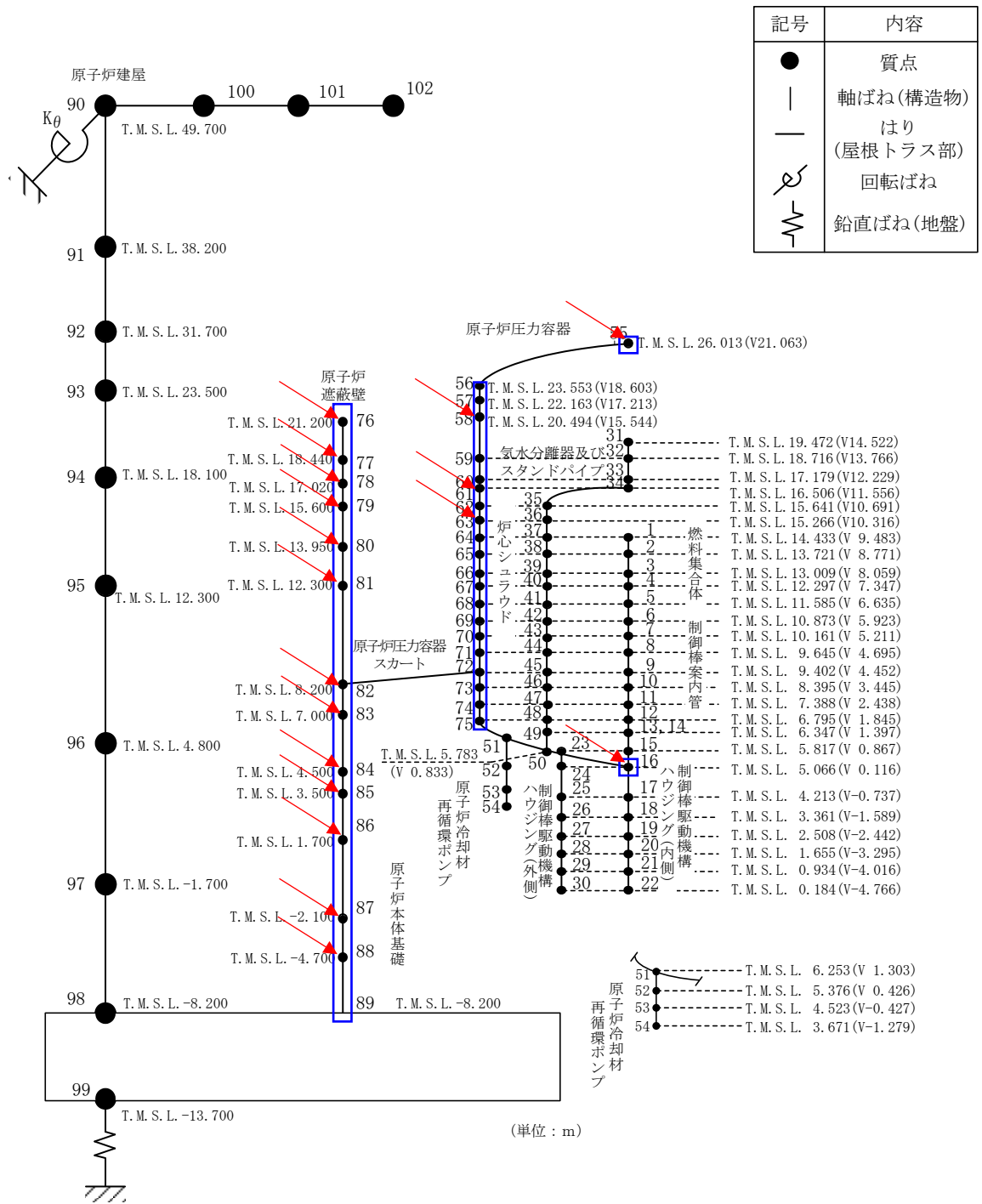


→ : 算出床面 (応答スペクトルフロー)

□ : 算出質点 (時刻歴フロー)

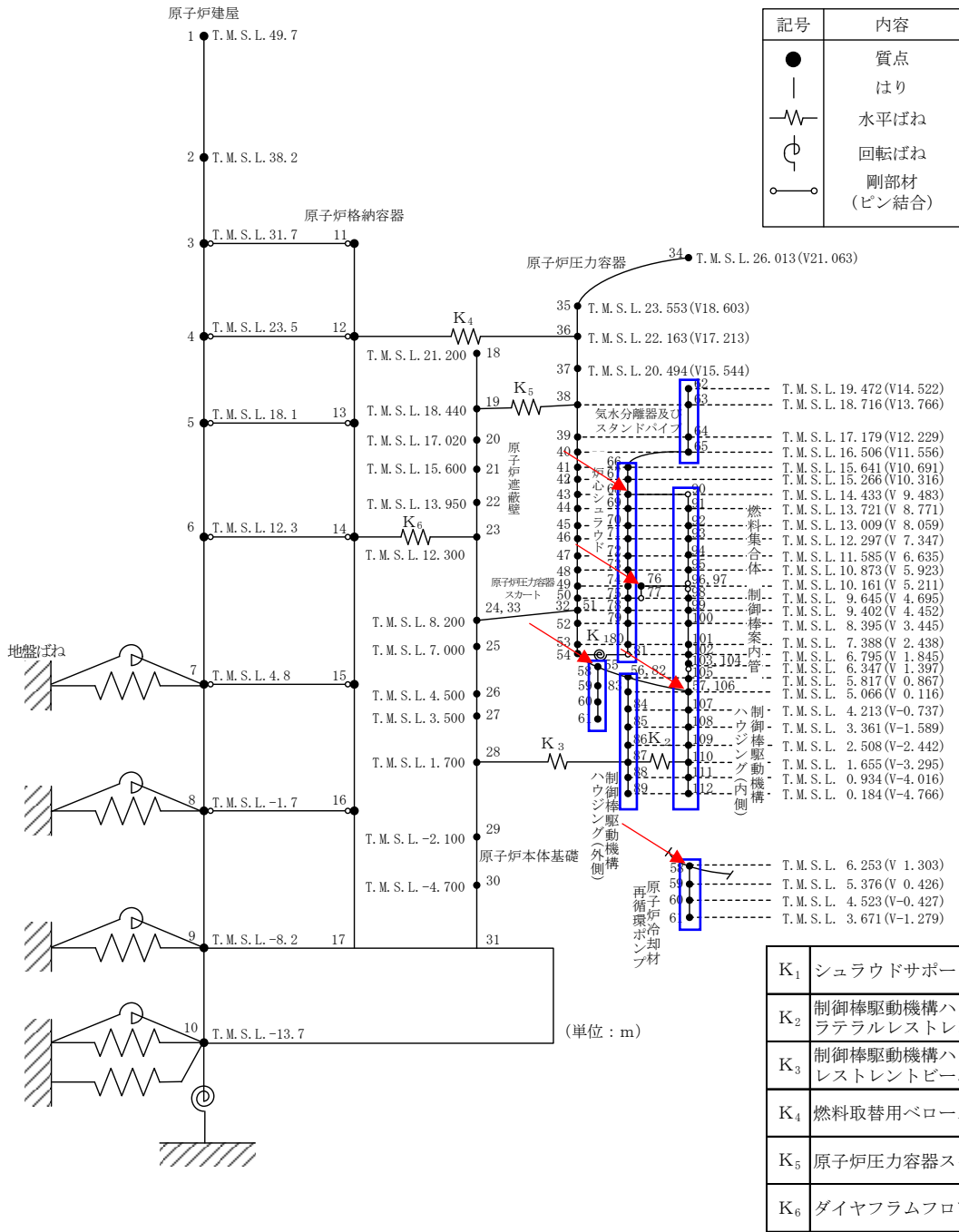
(V-2-1-7 「設計用床応答曲線の作成方針」 P15 に加筆)

図IV (2) - 2 大型機器系の地震応答解析モデルでの算出位置 (EW 方向)



K_θ トラス端部回転拘束ばね
→ : 算出床面 (応答スペクトルフロー)
 : 算出質点 (時刻歴フロー)
 (V-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」P16に加筆)

図IV (2) - 3 大型機器系の地震応答解析モデルでの算出位置 (UD 方向)

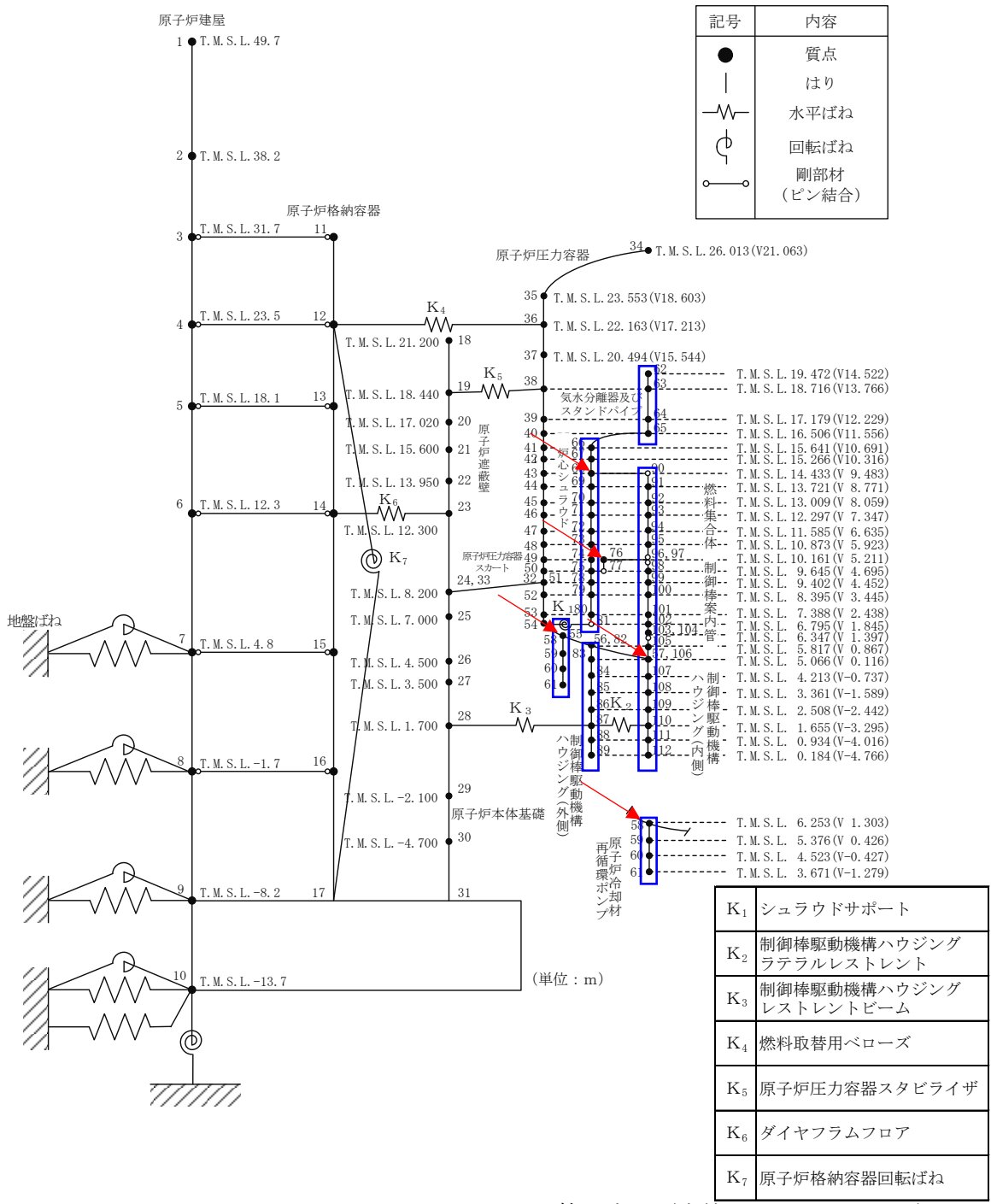


→ : 算出床面 (応答スペクトルフロー)

□ : 算出質点 (時刻歴フロー)

(V-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」P17に加筆)

図IV (3) - 1 炉内構造物系の地震応答解析モデルでの算出位置 (NS方向)

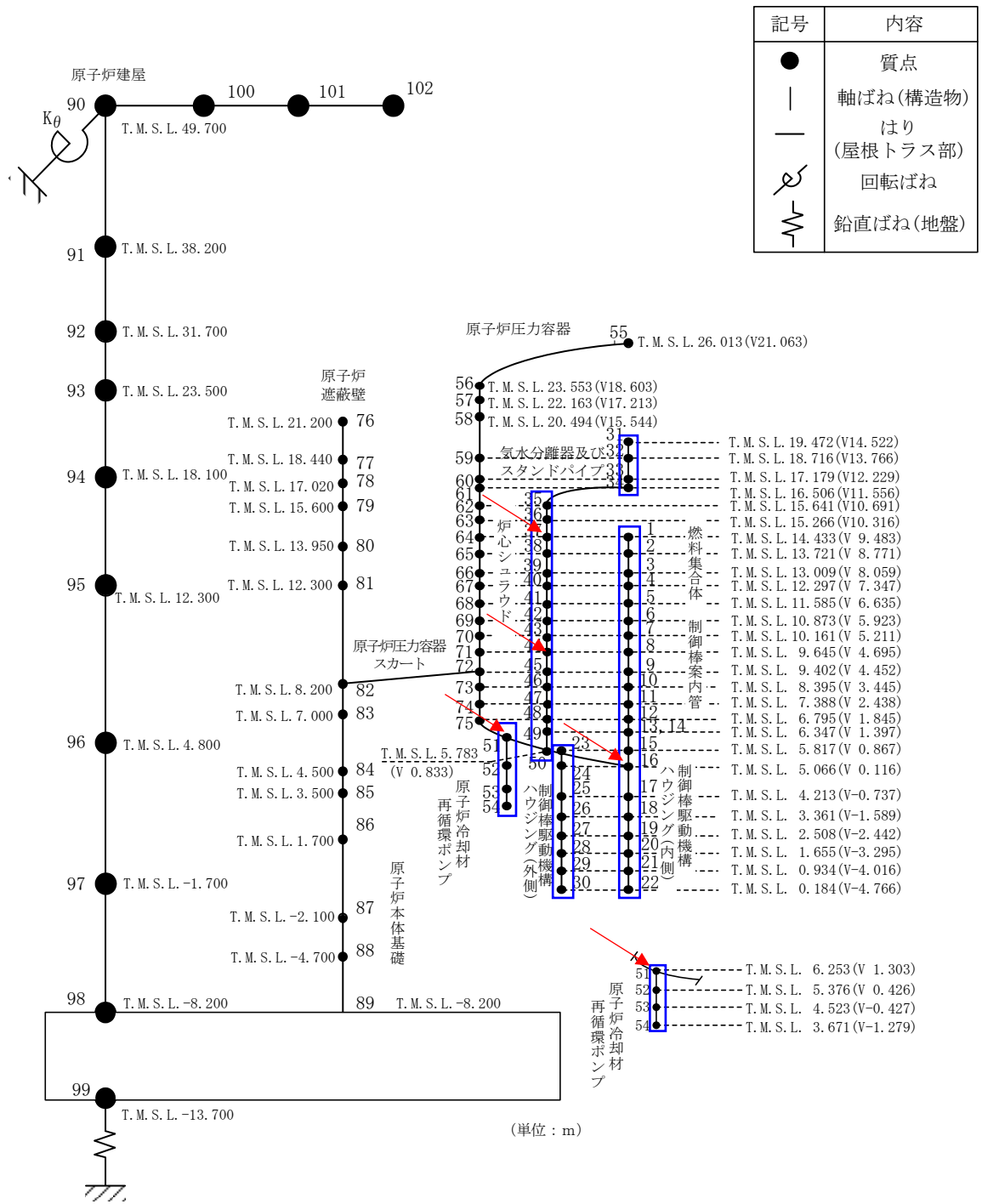


→ : 算出床面 (応答スペクトルフロー)

□ : 算出質点 (時刻歴フロー)

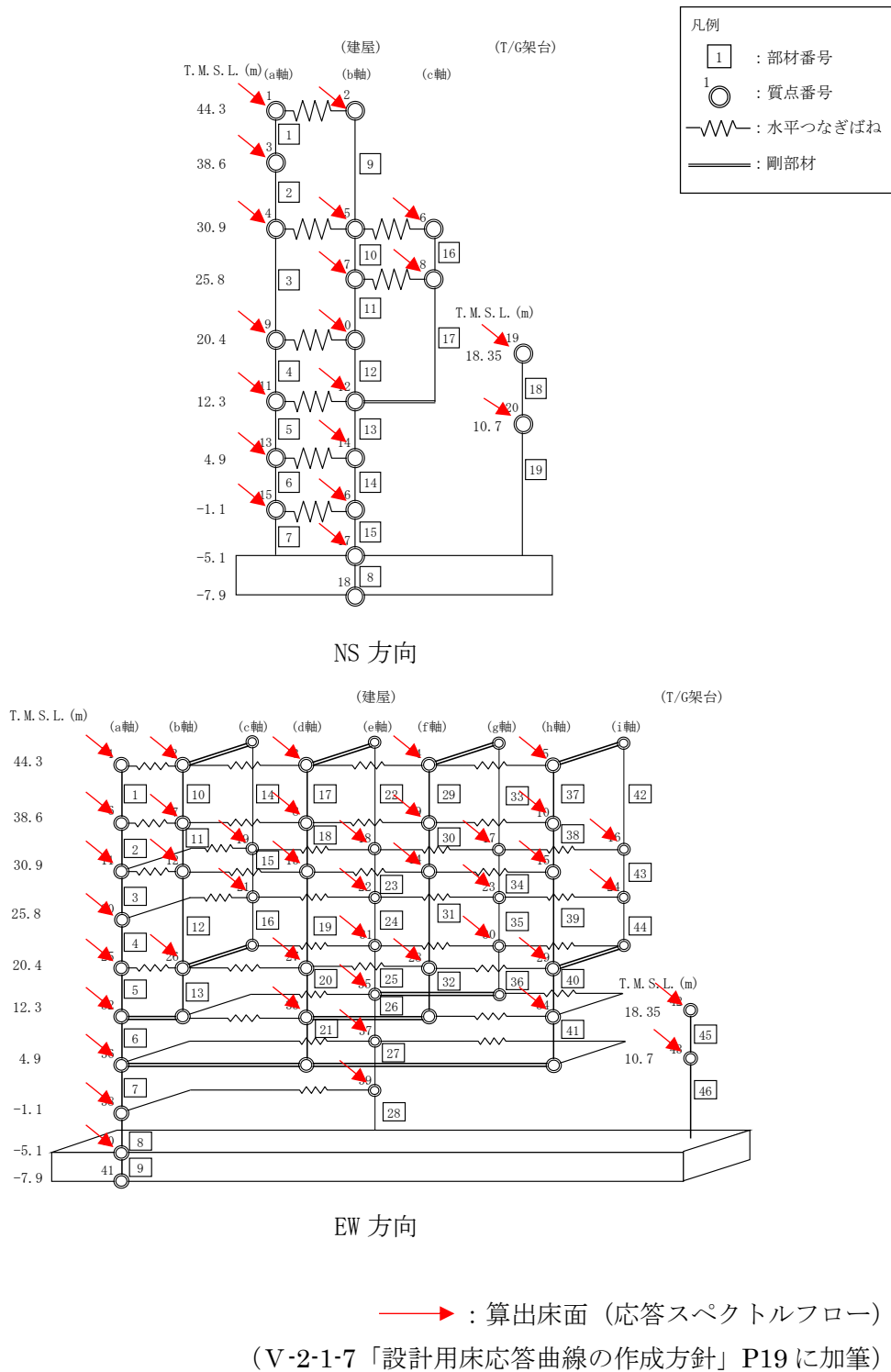
(V-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」P18に加筆)

図IV (3) - 2 炉内構造物系の地震応答解析モデルでの算出位置 (EW 方向)

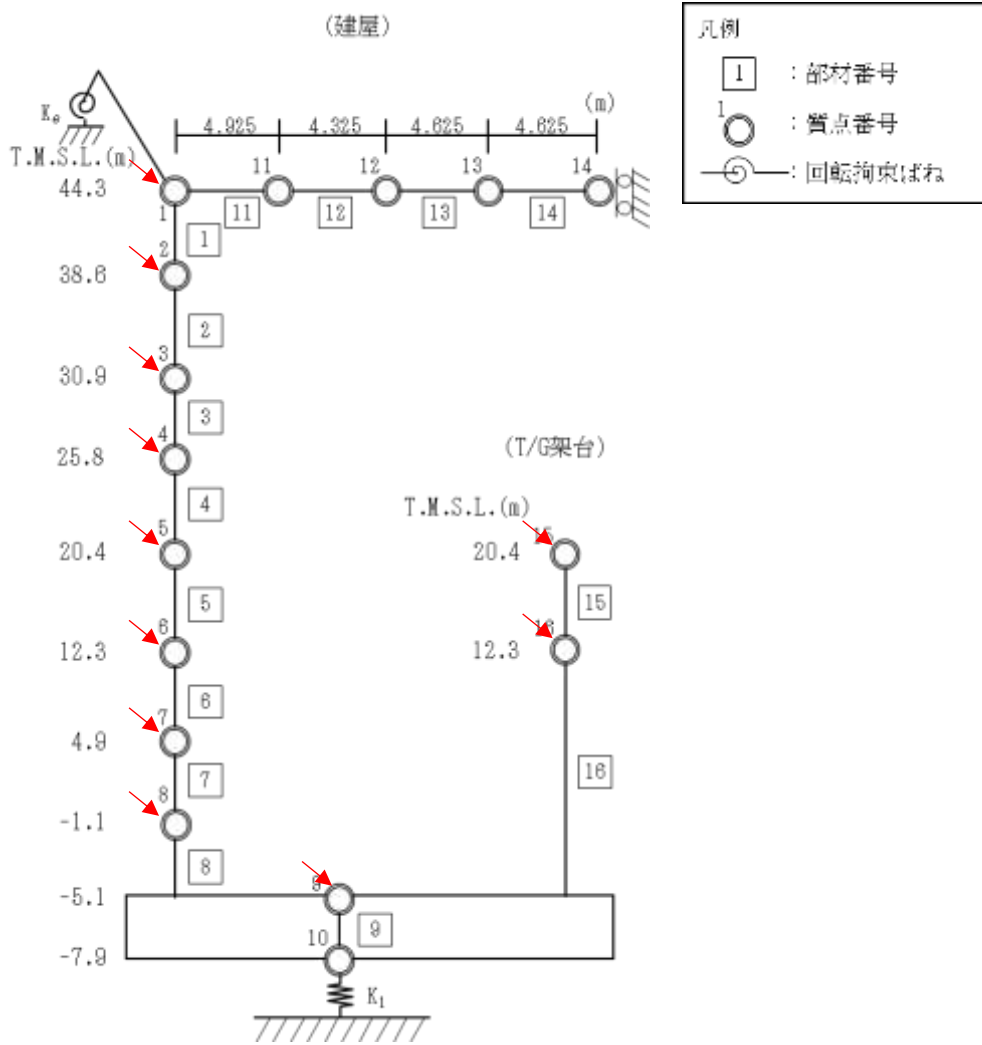


K_θ トラス端部回転拘束ばね
→ : 算出床面 (応答スペクトルフロー)
 : 算出質点 (時刻歴フロー)
 (V-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」P16に加筆)

図IV (3) - 3 炉内構造物系の地震応答解析モデルでの算出位置 (UD 方向)

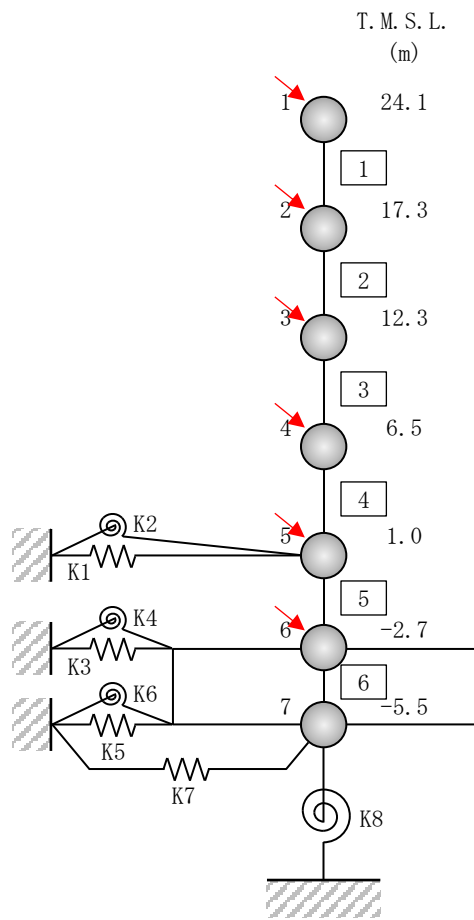


図IV (4) - 1 タービン建屋の地震応答解析モデルでの算出位置 (水平方向)

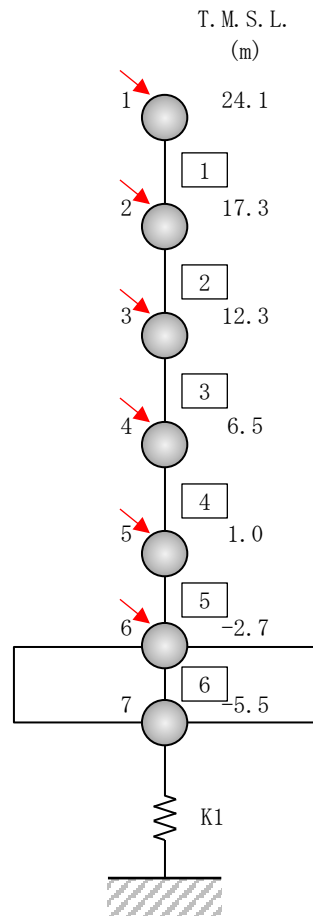


—▶ : 算出床面 (応答スペクトルフロー)
 (V-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」P20 に加筆)

図IV (4) - 2 タービン建屋の地震応答解析モデルでの算出位置 (鉛直方向)

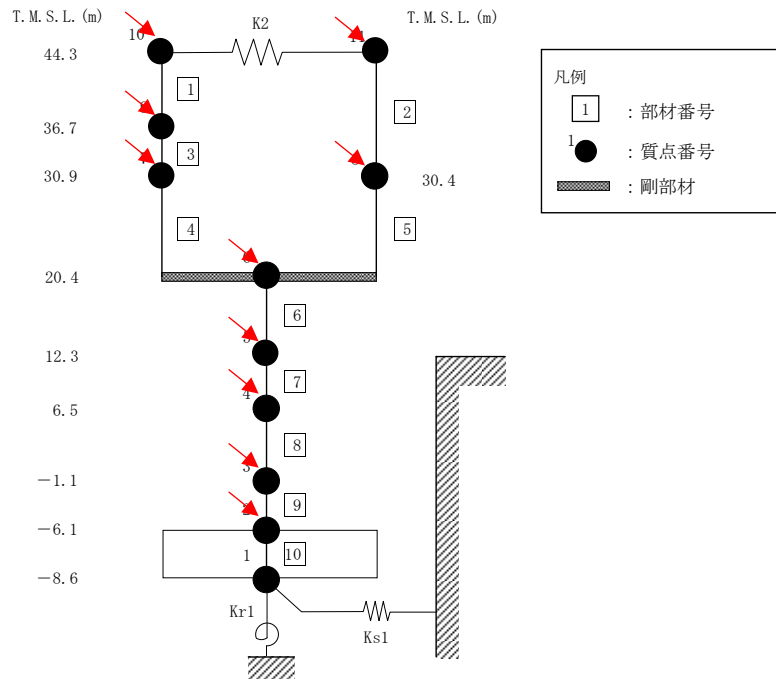


図IV (5) - 1 コントロール建屋の地震応答解析モデルでの算出位置 (水平方向)

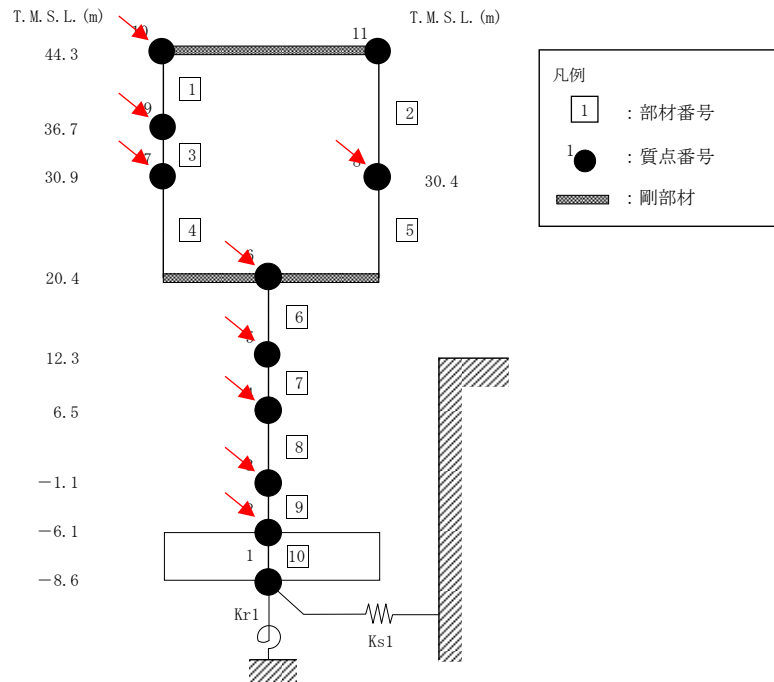


→ : 算出床面 (応答スペクトルフロー)
 (V-2-1-7 「設計用床応答曲線の作成方針」 P22 に加筆)

図IV (5) - 2 コントロール建屋の地震応答解析モデルでの算出位置 (鉛直方向)



NS 方向

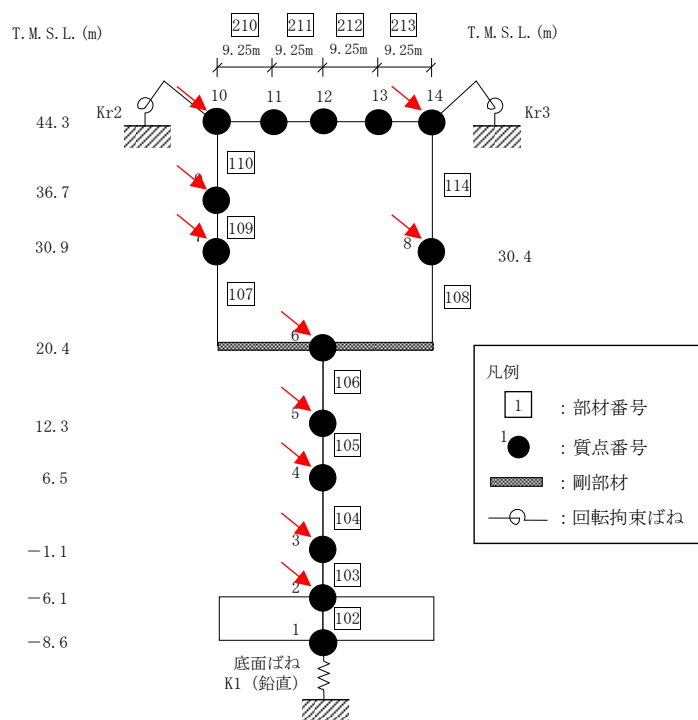


EW 方向

→ : 算出床面 (応答スペクトルフロー)

(V-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」P33に加筆)

図IV (6) - 1 廃棄物処理建屋の地震応答解析モデルでの算出位置 (水平方向)



→ : 算出床面 (応答スペクトルフロー)

(V-2-1-7 「設計用床応答曲線の作成方針」 P34 に加筆)

図IV (6) - 2 廃棄物処理建屋の地震応答解析モデルでの算出位置 (鉛直方向)

(補足)

- 補足 1 ピーク応力法における各ピークのサイクル数の求め方
- 補足 2 等価繰返し回数算出プログラムについて
- 補足 3 疲労評価の対象設備及び部位毎のピーク応力
- 補足 4 ピーク応力の算出方法について
- 補足 5 他方向入力を対象とした等価繰返し回数算定方法について
- 補足 6 柏崎刈羽 7 号機の等価繰返し回数の保守性について
- 補足 7 ピーク応力の大きさと等価繰返し回数の関係について
- 補足 8 等価繰返し回数の算出に用いる地震動の考え方について

補足1 ピーク応力法における各ピークのサイクル数の求め方

柏崎刈羽7号機のピーク応力法における各ピーク点におけるサイクル数についてはレインフロー法を用いて求める。図 補1. 1に示す通り、実際の材料挙動に着目し、片振りとなるピーク点については0.5、両振りとなるピーク点については1と割り当てている。なお、このサイクル数のカウント方法は疲労設計において、材料の応力-ひずみ挙動との対応が良いことから、一般的に用いられている手法である。

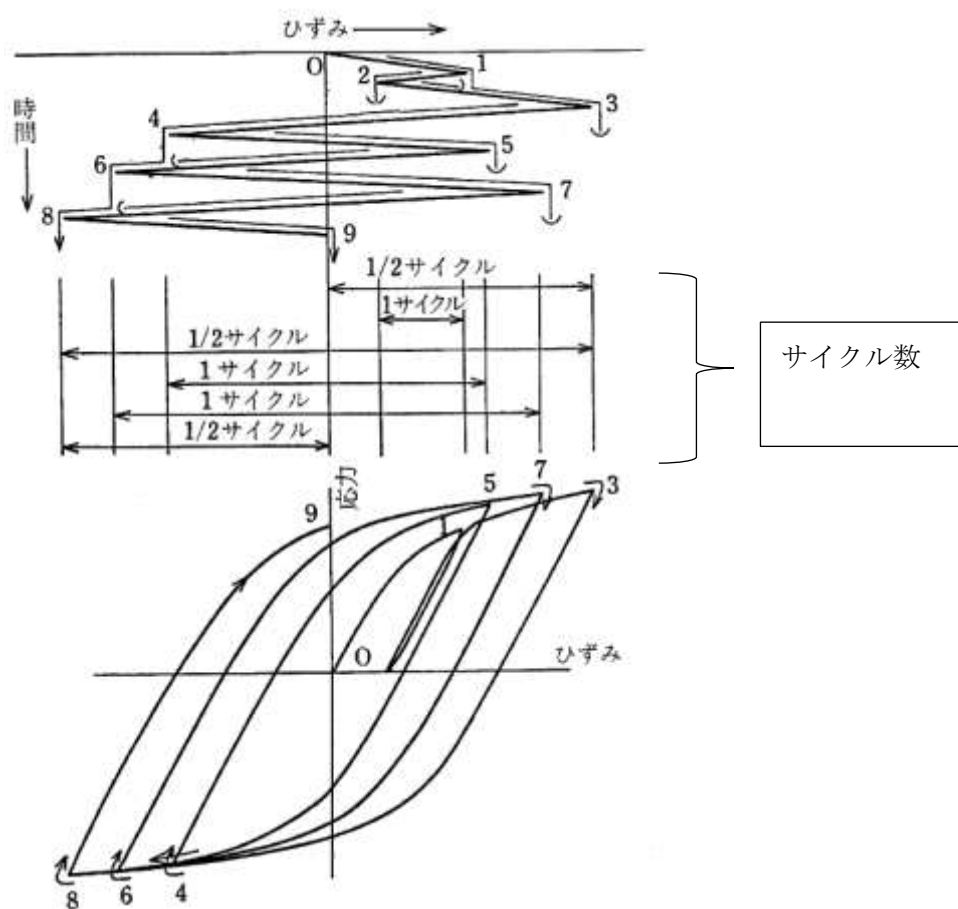


図 補1. 1 レインフロー法の概要

また、本カウント法に関する文献は以下がある。

- ・遠藤達雄ら他, 「Rain Flow Method」の提案とその応用, 九州工業大学研究報告(工学) No.28, 1974

補足 2 等価繰返し回数算出プログラムについて

1. はじめに

今回工認における等価繰返し回数算出において使用した計算機プログラム（解析コード）について説明する。

柏崎刈羽 7 号機に等価繰返し回数の算出において地震応答解析モデルごとに 2 つの算出プログラム（表 補 2. 1）を使用しており、使用状況、解析コードの概要を以降に記載する。

表 補 2. 1 柏崎刈羽 7 号機の地震応答解析モデル別の算出プログラム

別紙 No.	算出に用いた算出プログラム	地震応答解析モデル
別紙 1	PLTCOM2	原子炉建屋の地震応答解析モデル 大型機器系の地震応答解析モデル 炉内構造物系の地震応答解析モデル
別紙 2	HERO	タービン建屋の地震応答解析モデル コントロール建屋の地震応答解析モデル 廃棄物処理建屋の地震応答解析モデル

別紙1 PLTCOM2

1. 解析コードの概要

項目 \ コード名	等価繰返し回数算出プログラム (PLTCOM2)
使用目的	等価繰返し回数の算出
開発機関	日立GEニュークリア・エナジー株式会社
開発時期	2017年
使用したバージョン	Ver1.00
コードの概要	<p>等価繰返し回数算出プログラム (PLTCOM2) (以下、「本解析コード」という。) は、耐震設計に使用する条件を作成することを目的に、レインフロー法等を用いた方法で等価繰返し回数を算出する機能を統合したシステムである。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証 (Verification)】 本解析コードの検証の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードでレインフロー法によって算出した等価繰返し回数の値と、手計算で計算した値が一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、動作環境を満足する計算機にインストールして用いていることを確認している。 <p>【妥当性確認 (Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・算出方法は J E A G 4 6 0 1 記載の設計用繰返し回数の設定 (ピーク応力法) のフローに従っており、妥当性に問題はない。

2. 解析コード（PLTCOM2）における等価繰返し回数算出機能の検証

2. 1. 概要

本工事計画認可申請書において使用した解析コード（PLTCOM2）（以下、「本解析コード」という。）を用いて得られた計算結果の妥当性を確認し、本解析コードの検証を行うものである。本解析コードを用いた、等価繰返し回数算出フロー（ピーク応力法）を図 補2別1. 2. 1-1 に示す。

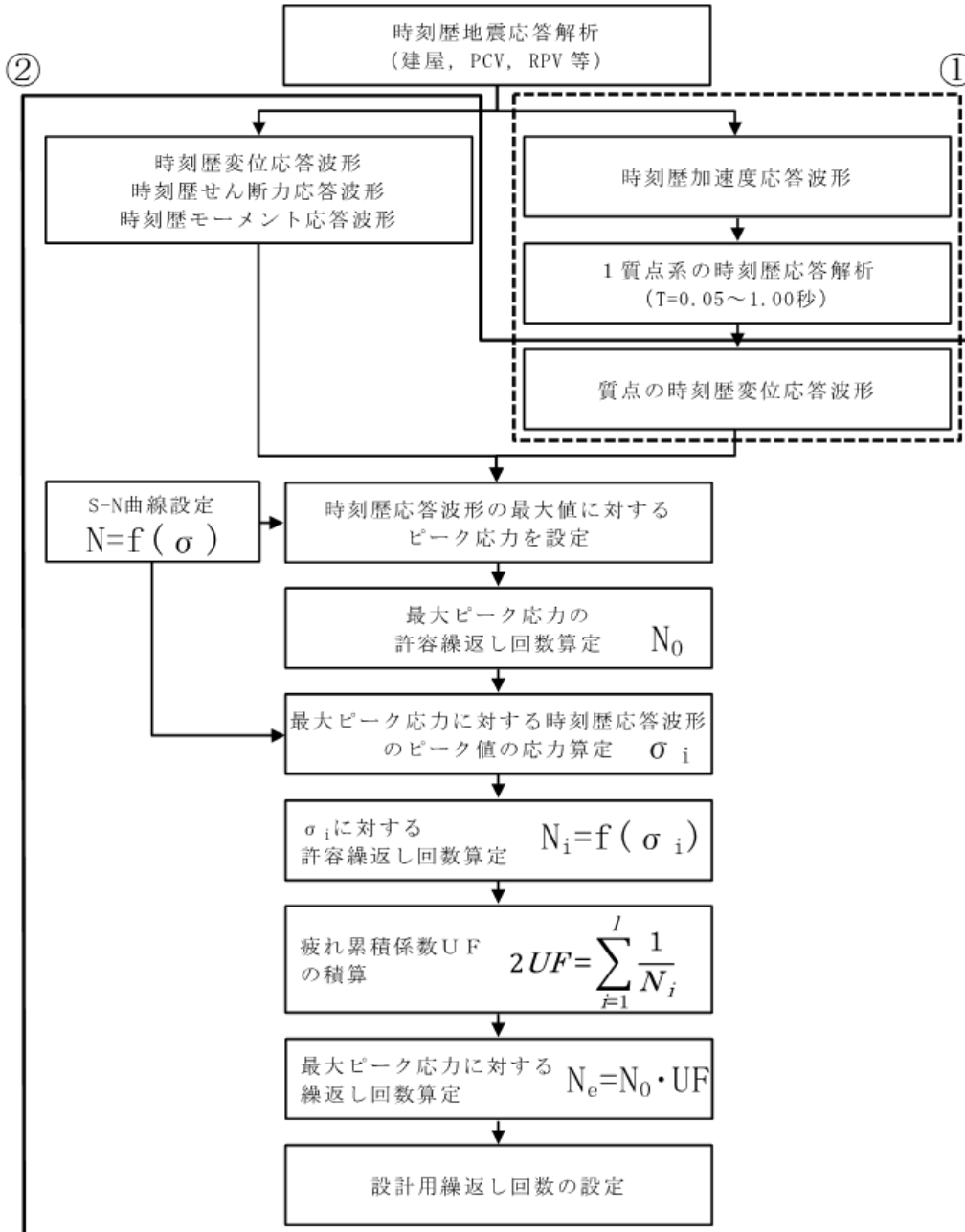


図 補2別1. 2. 1-1 等価繰返し回数算出フロー（ピーク応力法）

2. 2. 解析コードの検証

(1) 検証の概要

本解析コードによる計算結果の妥当性の確認には、手計算により算出した等価繰返し回数を用いる。

本解析コードと手計算により算出した等価繰返し回数の比較をすることにより、解析コードの検証を行った。

(2) 検証ケース

図 補2別1. 2. 2-1 に示す時刻歴データを入力地震動として、本解析コードを用いて計算する。等価繰返し回数算出において、図 補2別1. 2. 1-1 に示す等価繰返し回数算出フロー（ピーク応力法）の①と②で計算を行っているが、①の時刻歴加速度応答波形による1質点系の時刻歴応答解析は、「Seismic Analysis System (SAS)」の設計用床応答スペクトル作成機能と同モジュールを使用している。

時刻歴加速度応答波形による1質点系の時刻歴応答解析後の処理は②と同じであるため、本検証では、②の計算結果と手計算により算出した等価繰返し回数の比較をする。

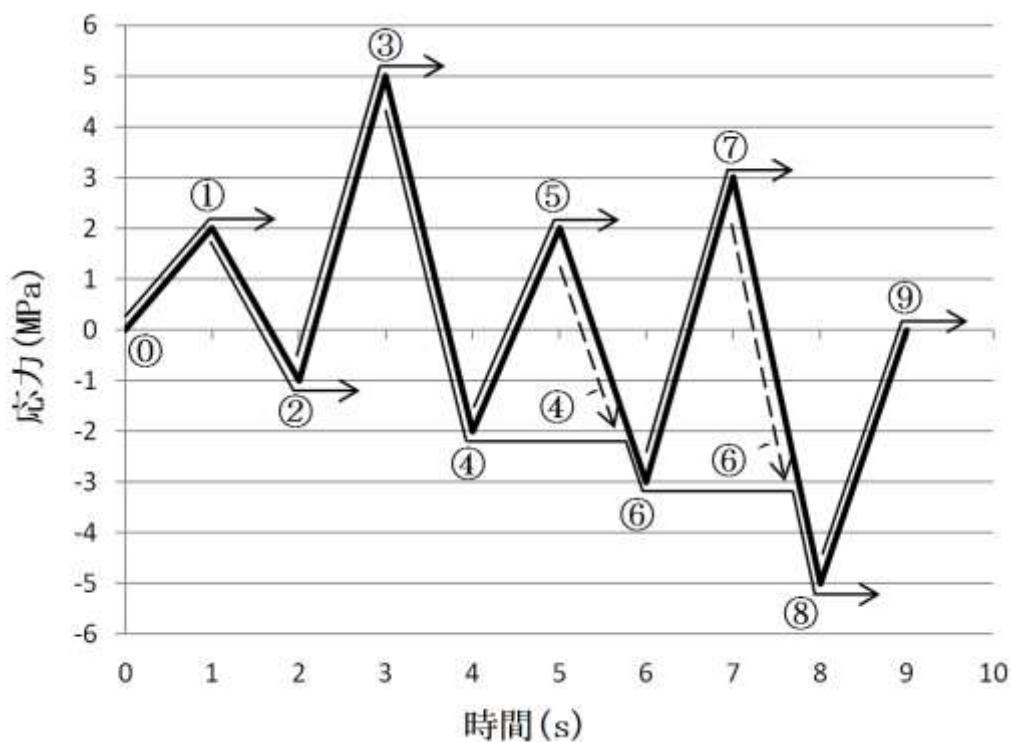


図 補2別1. 2. 2-1 入力地震動

(3) 算出条件

J E A G 4 6 0 1 記載の等価繰返し回数算出フロー（ピーク応力法）のうち時刻歴波形に対する等価繰返し回数を算出する。算出条件を表 補 2 別 1 . 2 . 2 - 1 に、使用する設計疲労線図の材料データを表 補 2 別 1 . 2 . 2 - 2 に示す。

表 補 2 別 1 . 2 . 2 - 1 算出条件

設定項目	算出条件
設計疲労線図	炭素鋼，低合金鋼及び高張力鋼 ($S_u \leq 550\text{MPa}$)
最大ピーク応力	1471MPa

表 補 2 別 1 . 2 . 2 - 2 設計疲労線図 材料データ

許容繰返し回数(回)	繰返しピーク応力強さ(MPa)
1.00×10^1	3999
2.00×10^1	2827
5.00×10^1	1896
1.00×10^2	1413
2.00×10^2	1069
5.00×10^2	724
1.00×10^3	572
2.00×10^3	441
5.00×10^3	331
1.00×10^4	262
1.20×10^4	248
2.00×10^4	214
5.00×10^4	159
1.00×10^5	138
2.00×10^5	114
5.00×10^5	93
1.00×10^6	86

(4) 計算結果の比較

本解析コード及び手計算で計算した等価繰返し回数 N_e を表 2. 2-3 に示す。そのうち、応力に対する許容繰返し回数 N_i は J S M E 設計・建設規格に記載の補間方法を用いて算出した。また、 N_0 は N_i における最大ピーク応力である。

手計算による σ_i に対する許容繰返し回数 N_i の計算結果を表 補 2 別 1. 2. 2-4, 手計算による疲れ累積係数 $U F$ の計算結果を表 補 2 別 1. 2. 2-5 に示す。

(5) 検証結果

表 補 2 別 1. 2. 2-3 に示す等価繰返し回数の比較結果のとおり、両者は一致しており、本解析コードを用いて得られた計算結果の妥当性を確認した。

表 補2別1. 2. 2-3 本解析コード及び手計算による等価繰返し回数の計算結果

No.	項目	本解析コードによる 計算結果	手計算による計算結果

表 補2別1. 2. 2-4 手計算による σ_i に対する許容繰返し回数 N_i の計算結果

ピーク点		ピーク応力 (MPa)	最大ピーク応力に対する 時刻歴応答波形の ピーク応力 σ_i (MPa)	σ_i に対する 許容繰返し回数 N_i (回)
START	END			

表 補2別1. 2. 2-5 手計算による疲れ累積係数 U_F の計算結果

疲れ累積係数 U_F

別紙2 HERO

1. 解析コードの概要

項目	コード名 等価繰返し回数の計算プログラム (HERO)
使用目的	等価繰返し回数の算出
開発機関	東芝エネルギーシステムズ 株式会社
開発時期	2017年～2018年
使用したバージョン	Ver.1.00, 2.00 及び 4.00
コードの概要	等価繰返し回数算出プログラム (HERO) (以下, 「本解析コード」という。) は, 耐震設計に使用する条件を作成することを目的に, レインフロー法等を用いた方法で等価繰返し回数を算出する機能を有するシステムである。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証 (Verification)】 本解析コードの検証内容は, 以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 本解析コードで算出した 1 質点系の応答計算の値と手計算の値が一致していることを確認している。 ・ 本解析コードでレインフロー法によって算出した等価繰返し回数の値と, 手計算で計算した値が一致していることを確認している。 ・ 本解析コードの運用環境について, 動作環境を満足する計算機にインストールして用いていることを確認している。 <p>【妥当性確認 (Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は, 以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 1 質点系の応答計算機能は, 理論モデルをそのままコード化したものであり, 妥当性は確認されている。 ・ 床応答曲線を作成する際, 入力とする時刻歴データの時間刻み幅, データの形式は, 妥当性を確認している範囲内での使用であることを確認している。 ・ 時刻歴波の時間刻み, 固有周期計算間隔は J E A G 4 6 0 1 に従っており, 妥当性は確認されている。 ・ 算出方法は J E A G 4 6 0 1 記載の設計用繰返し回数の設定 (ピーク応力法) のフローに従っており, 妥当性に問題はない。

2. 解析コード（HERO）における等価繰返し回数算出機能の検証

2. 1 概要

本工事計画認可申請書において使用した解析コード（HERO）（以下、「本解析コード」とする。）を用いて得られた計算結果の妥当性を確認し、本解析コードの検証を行うものである。本解析コードを用いた、等価繰返し回数算出フロー（ピーク応力法）を図 補2別2. 2. 1-1 に示す。

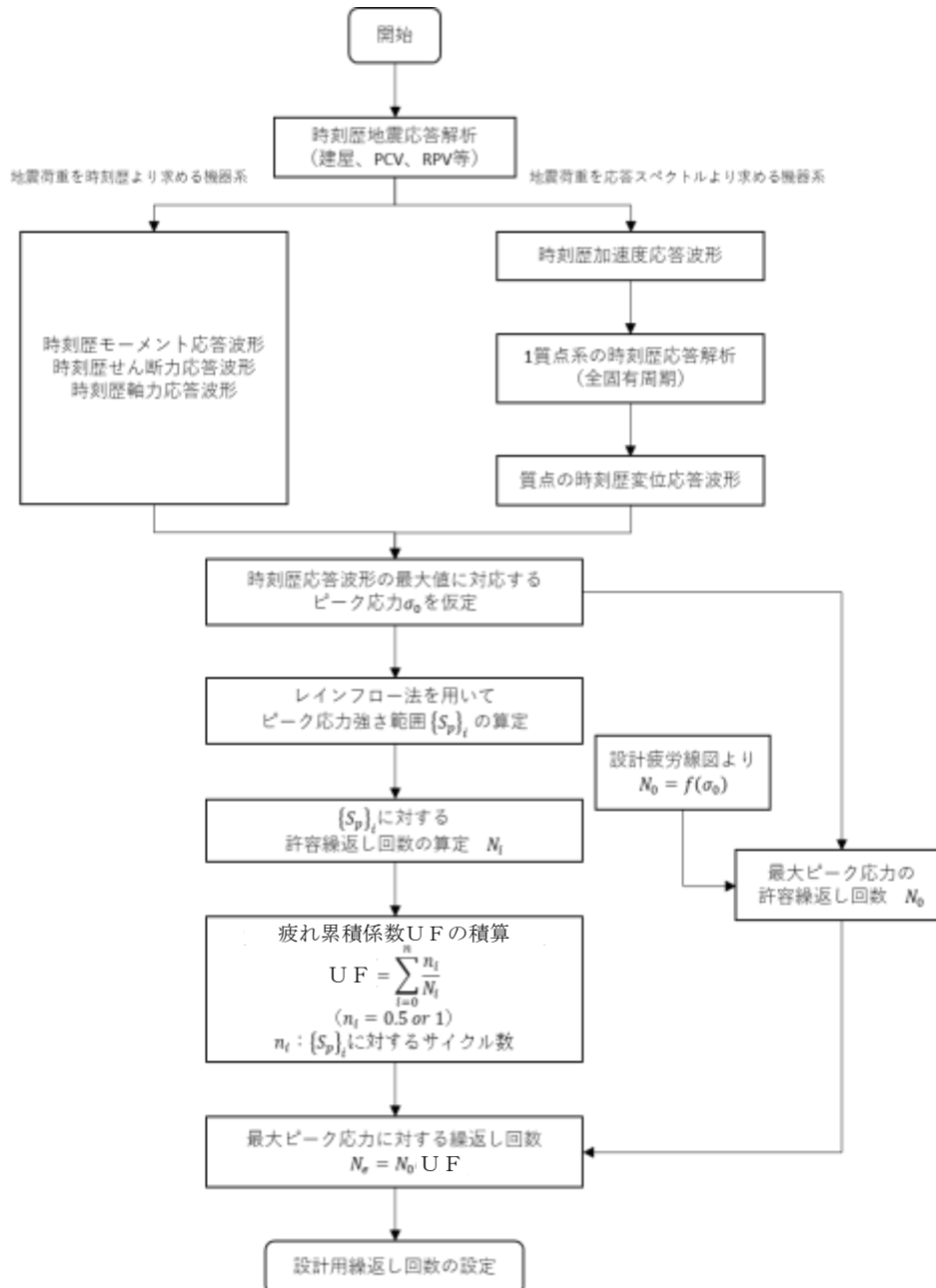


図 補2別2. 2. 1-1 等価繰返し回数の算出フロー（ピーク応力法）

2. 2 解析コードの検証

2. 2. 1 直接積分法

(1) 検証の概要

本解析コードに実装されている1質点系応答計算のうち、直接積分法(Nigam法)の関数部の検証を行った。なお、本解析コードによる算出結果の妥当性確認には、手計算により算出した各固有周期での絶対応答加速度(理論解)を用いて、本解析コードにより算出した各固有周期での絶対応答加速度を比較し検証を行った。

(2) 検証ケース

検証ケースを表 補2別2. 2. 2. 1-1に示す。

表 補2別2. 2. 2. 1-1 直接積分法の検証ケース

入力波	正弦波
減衰定数	5 [%]
固有周期	0.01 ~ 10 [s] (0.01 [s] 刻み全1000点)
入力振動数	1, 2, 5, 10, 20 [Hz]
入力時間間隔	0.005 [s]
入力継続時間	10 [s]
入力振幅	0.20394 [G]

(3) 算出条件

1質点系応答計算における検証ケースのモデルを表 補2別2. 2. 2. 1-2, 図 補2別2. 2. 2. 1-1に示す。

表 補2別2. 2. 2. 1-2 各変数の値

m	50000 [kg]
k	0.01 ~ 10.0 [s]の固有周期による変数
α	0.20394 [G]
ω	$2\pi f$ ($f = 1.0, 2.0, 5.0, 10.0$ and 20.0 [Hz])
h	0.05 (減衰定数)
c	0.01 ~ 10.0 [s]の固有周期による変数

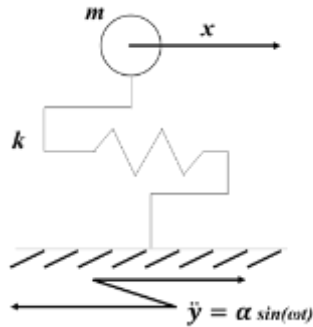


図 補2別2. 2. 2. 1-1 1質点系の検証例題

(4) 理論式

図 補2別2. 2. 2. 1-1に対し，正弦波の時刻歴を入力条件とした場合の絶対応答加速度の理論式は，下式より計算される。

1質点系の固有振動数は次式となる。

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

図 補2別2. 2. 2. 1-1に示す1質点系の振動方程式は，以下となる。

$$\ddot{x} + 2h\omega_0\dot{x} + \omega_0^2x = -\ddot{y} = -\alpha\sin\omega t$$

$$2h\omega_0 = \frac{c}{m}, \quad \omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}, \quad \ddot{y} = \alpha\sin\omega t$$

上式を解くことで相対応答変位は下式より計算される。

$$x = e^{-h\omega_0 t} (A\cos\omega_d t + B\sin\omega_d t) + \frac{2h\omega\omega_0\alpha}{S^2} \cos\omega t + \frac{(\omega^2 - \omega_0^2)\alpha}{S^2} \sin\omega t$$

ここで，用いる定数は以下の通り。

$$S = \sqrt{(\omega^2 - \omega_0^2)^2 + 4h^2\omega^2\omega_0^2}$$

$$A = x_0 - \frac{2h\omega\omega_0\alpha}{S^2}$$

$$B = \frac{1}{\sqrt{1-h^2}} \left\{ hx_0 + \frac{v_0}{\omega_0} - \frac{(\omega^2 - \omega_0^2 + 2h^2\omega_0^2)\omega\alpha}{\omega_0 S^2} \right\}$$

$$\omega_d = \sqrt{1-h^2}\omega_0$$

また、上式より相対応答加速度を求める理論式は下式となる。

$$\ddot{x} = h^2\omega_0^2 e^{-h\omega_0 t} (A\cos\omega_d t + B\sin\omega_d t) - 2h\omega_0 e^{-h\omega_0 t} (-A\omega_d \sin\omega_d t + B\omega_d \cos\omega_d t) + e^{-h\omega_0 t} (-A\omega_d^2 \cos\omega_d t - B\omega_d^2 \sin\omega_d t) + D\{2h\omega_0 \cos\omega t + (\omega^2 - \omega_0^2)\sin\omega t\}$$

ここで、

$$x(0) = x_0 = 0, \quad \dot{x}(0) = v_0 = 0$$

$$D = -\frac{\omega^2 \alpha}{S^2}$$

よって、絶対応答加速度の理論式は下式となる。

$$\ddot{\zeta} = \ddot{x} + \ddot{y}$$

(5) 計算結果

理論解と Nigam 法の計算結果の比較を図 補2別2. 2. 2. 1-2 に示す。

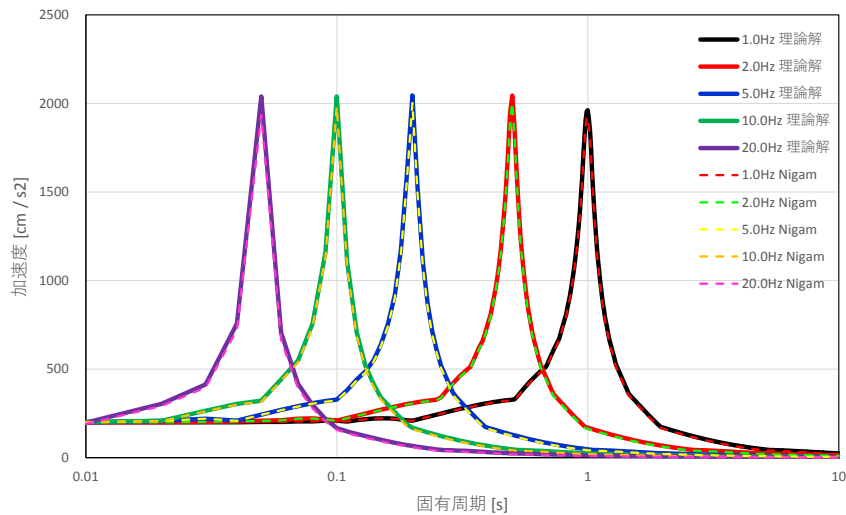


図 補2別2. 2. 2. 1-2 理論解と Nigam 法の計算結果の比較

図 補2別2. 2. 2. 1-2 より理論解と Nigam 法の計算結果はよく一致しており、HERO による1質点系応答計算の妥当性を確認した。

2. 2. 2 サイクルカウント法

(1) 検証の概要

本解析コードによる計算結果の妥当性の確認には、手計算により算出した等価繰返し回数を用いる。

本解析コードと手計算により算出した等価繰返し回数を比較することにより、解析コードの検証を行った。

(2) 検証ケース

図 補2別2. 2. 2. 2-1に示す時刻歴データを入力として、本解析コードを用いて計算する。等価繰返し回数の算出において、図 補2別2. 2. 2. 2-1に示す等価繰返し回数の算出フロー（地震荷重を時刻歴より求める機器系の算出フローと地震荷重を応答スペクトルより機器系の算出フロー）で計算を行っているが、本検証では「地震荷重を時刻歴より求める機器系の算出フローを用い、本解析コードによる算出結果と手計算による算出結果を比較し検証する。

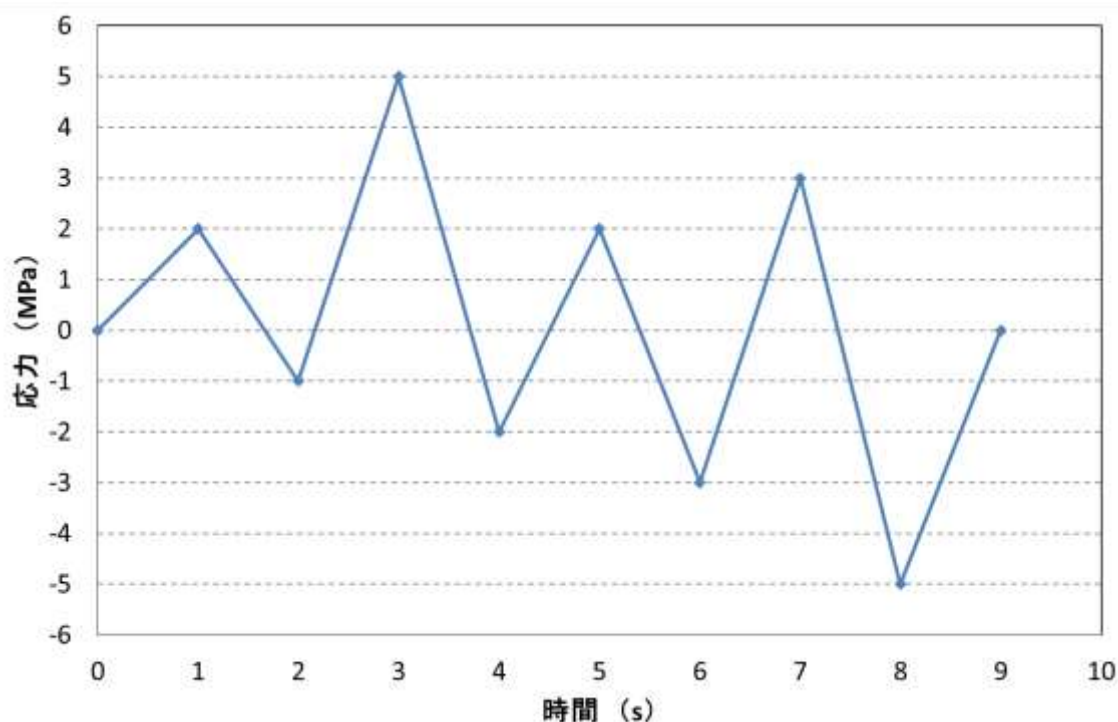


図 補2別2. 2. 2. 2-1 入力に用いる時刻歴データ

(3) 算出条件

J E A G 4 6 0 1 記載の等価繰返し回数の算出フロー（ピーク応力法）のうち、時刻歴波形に対する等価繰返し回数を算出する。算出条件を表 補 2 別 2. 2. 2. 2-1, 算出に使用する設計疲労線図の材料データを表 補 2 別 2. 2. 2. 2-2 に示す。

表 補 2 別 2. 2. 2. 2-1 算出条件

設定項目	算出条件
設計疲労線図	炭素鋼, 低合金鋼及び高張力鋼 ($S_u \leq 550\text{MPa}$)
最大ピーク応力	1471MPa

表 補 2 別 2. 2. 2. 2-2 設計疲労線図 材料データ
(炭素鋼, 低合金鋼および高張力鋼 ($S_u \leq 550\text{MPa}$))

許容繰返し回数 (回)	繰返しピーク応力強さ (MPa)
1.00×10^1	3999
2.00×10^1	2827
5.00×10^1	1896
1.00×10^2	1413
2.00×10^2	1069
5.00×10^2	724
1.00×10^3	572
2.00×10^3	441
5.00×10^3	331
1.00×10^4	262
1.20×10^4	248
2.00×10^4	214
5.00×10^4	159
1.00×10^5	138
2.00×10^5	114
5.00×10^5	93
1.00×10^6	86

(4) 計算結果の比較

レインフロー法の算出フロー①～⑥を図 補2別2. 2. 2. 2-2示す。

本解析コード及び手計算で計算した等価繰返し回数 N_0 を表 補2別2. 2. 2. 2-3に示す。そのうち、応力に対する許容繰返し回数 N_i はJ SME設計・建設規格に記載の補間方法を用いて算出した。また、 N_0 は N_i における最大ピーク応力である。

手計算によるピーク応力強さ $\{S_p\}_i$ に対する許容繰返し回数 N_i の計算結果を表 補2別2. 2. 2. 2-4, 手計算による疲れ累積係数UFの算出結果を表 補2別2. 2. 2. 2-5に示す。

(5) 検証結果

表 補2別2. 2. 2. 2-3に示す等価繰返し回数の比較結果のとおり、両者は一致しており、本解析コードを用いて得られた計算結果の妥当性を確認した。

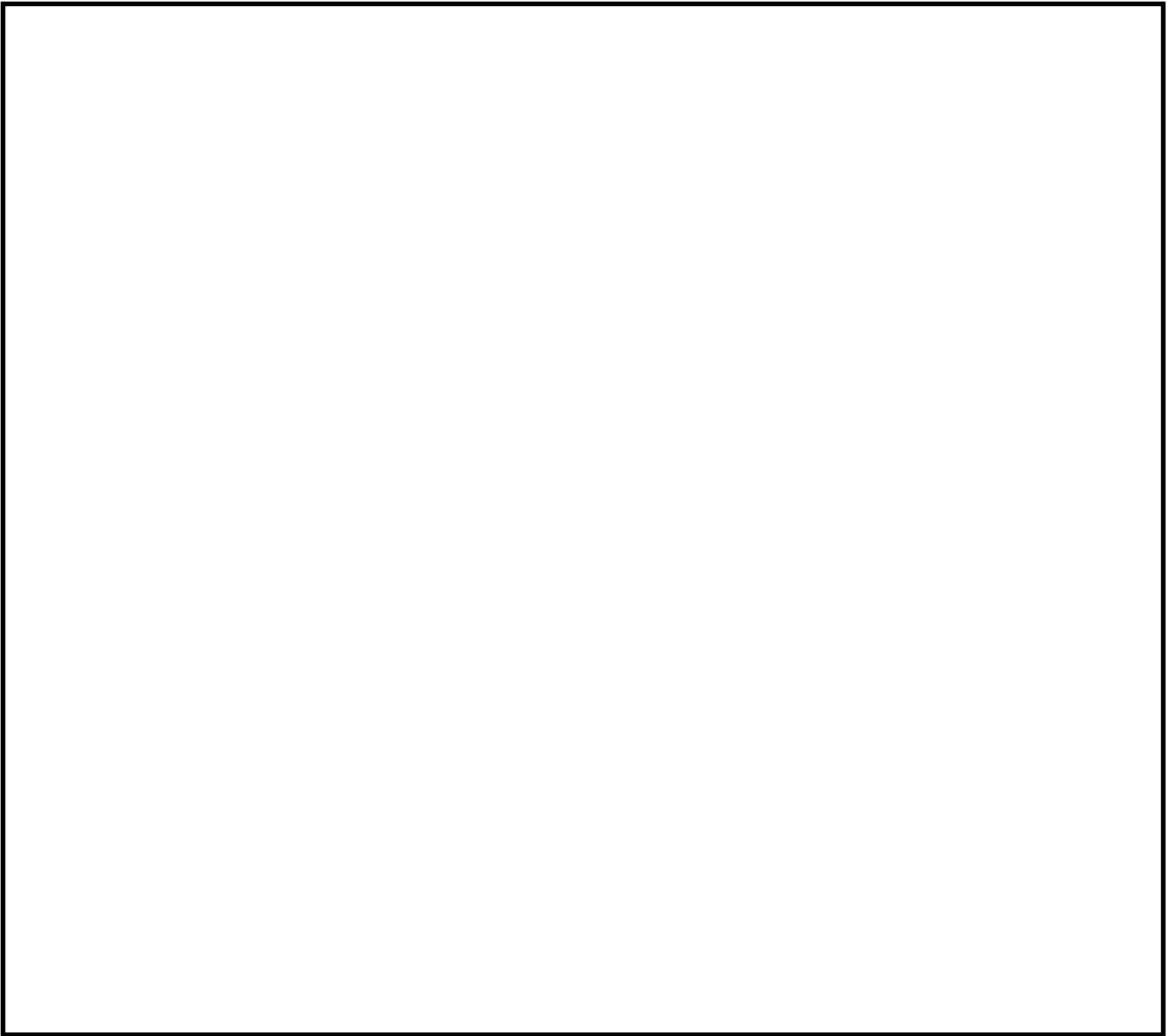


図 補2別2. 2. 2-2 レインフロー法の算出フロー

表 補2別2. 2. 2. 2-3 本解析及び手計算による等価繰返し回数の計算結果

No.	項目	本解析コードによる 計算結果	手計算による 計算結果

表 補2別2. 2. 2. 2-4 手計算による $\{S_p\}_i$ に対する許容繰返し回数 N_i の算出結果

No.	サイクル数	ピーク応力 $\{S_p\}_i$ (MPa)	$\{S_p\}_i$ に対する 繰返し応力強さ (MPa)	$\{S_p\}_i$ に対する 許容繰返し回数 N_i (回)

表 補2別2. 2. 2-5 手計算による疲れ累積係数 U_F の算出結果

疲れ累積係数 U_F

補足3 疲労評価の対象設備及び部位毎のピーク応力

設備名称	評価部位	ピーク応力(MPa) (水平2方向考慮なし)	ピーク応力(MPa) (水平2方向考慮あり)
一律に設定する等価繰返し回数を用いる疲労評価対象設備設備			
原子炉压力容器	原子炉压力容器支持 スカート	230	325
	下部鏡板	77	108
	給水ノズル (N4)	—	278
	胴板	130	184
	制御棒駆動機構ハウ ジング貫通孔	298	421
	原子炉冷却材再循環 ポンプ貫通孔 (N1)	515	894
	主蒸気ノズル (N3)	—	330
	低圧注水ノズル (N6)	—	721
	上蓋スプレイ・ベン トノズル (N7)	—	337
	原子炉停止時冷却材 出口ノズル (N8)	—	262
	原子炉停止時冷却材 出口ノズル (N10)	—	339
	原子炉冷却材再循環 ポンプ差圧検出ノズ ル (N9)	257	373
	炉心支持板差圧検出 ノズル (N11)	257	373
	計装ノズル (N12)	—	140
	計装ノズル (N13)	—	140
	計装ノズル (N14)	—	327
	ドレンノズル (N15)	—	326
	高圧炉心注水ノズル (N16)	—	245
原子炉冷却材再循環 ポンプモータケーシ ング	390	592	
制御棒駆動機構	スプールピースの最 小断面	15	—*1
原子炉冷却材再循環 ポンプ	モータカバー	12	—*2
	補助カバー	1	
燃料集合体	燃料被覆管	58	74

設備名称	評価部位	ピーク応力(MPa) (水平2方向考慮なし)	ピーク応力(MPa) (水平2方向考慮あり)
原子炉補機冷却水系 熱交換器 (A), (B), (D), (E)	胴板		—※3
下部ドライウェルア クセストーンスリ ープ及び鏡板 (所員 用エアロック付)	鏡板のスリーブとの 結合部	—	612
	スリーブとフランジ プレートとの結合部	—	632
下部ドライウェル所 員用エアロック	下部ドライウェル所 員用エアロック 円筒胴と鏡板との結 合部	—	707
ベント管	リターンラインの 垂直管との結合部	—	824
配管 (最大ピーク応 力発生箇所：所内温 水系配管(HWH- R2F-5))	配管本体	—	1184
個別に設定する等価繰返し回数を用いる疲労評価対象設備			
原子炉補機冷却水系 配管 (RCW-T-3)	配管本体	—	1631
原子炉補機冷却水系 配管 (RCW-T-4)	配管本体	—	1631
消火系配管(FP- 025R2)	配管本体	—	1220
非放射性ドレン移送 系配管 (MSC- 002R2)	配管本体	—	1158
雑用水系配管 (DW- 006R2)	配管本体	—	1386
タービン補機冷却水 系配管 (TCW- 001R1)	配管本体	—	1207

- ※1 評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動の方向ごとに最大応力点が異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向入力の影響は軽微である。
- ※2 鉛直方向荷重の影響が支配的であるため、水平方向地震動は荷重条件として考慮していない。したがって、水平2方向入力の影響はない。
- ※3 水平2方向が同時に作用した場合においても、強軸と弱軸の関係が明確であり、斜め方向に変形するのではなく、支持構造物の強軸側と弱軸側に変形するため、最大応力発生部位は変わらない。したがって水平2方向入力の影響は軽微である。(詳細はKK7補足-024「工事計画に係る説明資料(耐震性に関する説明書)資料4 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する検討について」参照。)

補足4 ピーク応力の算出方法について

ここでは、代表設備（クラス1配管のうち地震+地震以外の疲れ累積係数UFが最大となる配管モデルRHR-PD-2）のピーク応力算出方法について説明する。

地震時のピーク応力算出フローを図 補4. 1に、算出方法を以下に示す。

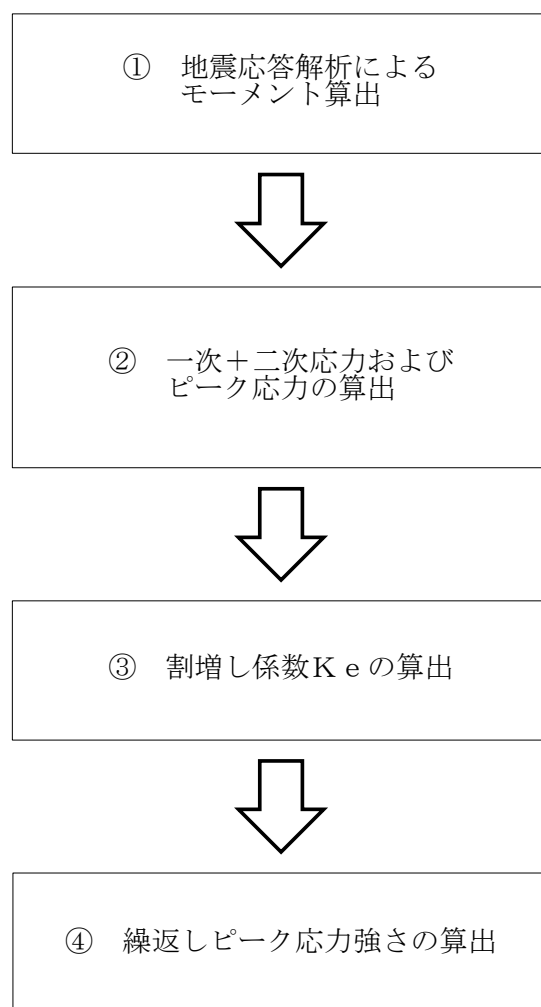


図 補4. 1 地震時のピーク応力算出フロー

① 地震応答解析によるモーメント算出

RHR-PD-2の地震応答解析(3次元はりモデルを用いたスペクトルモーダル解析)を実施し、RHR-PD-2に生じるモーメントを算出する。この地震応答解析から得られたモーメントを表 補4. 1に示す。

表 補4. 1 地震応答解析から得られたモーメント (N・mm)

	Mx	My	Mz
慣性力			
相対変位			

② 一次+二次応力およびピーク応力の算出

表 補4. 1に示すモーメントにより算出した一次+二次応力 S_n 及びピーク応力 S_p は以下による。(J E A G 4 6 0 1-1987 (6.6.2-22), (6.6.2-25))

$$S_n = \frac{C_2 \times M_{iS}}{Z}$$

$$= \boxed{\hspace{10em}} \quad (\text{MPa})$$

$$S_p = \frac{K_2 \times C_2 \times M_{iS}}{Z}$$

$$= \boxed{\hspace{10em}} \quad (\text{MPa})$$

一次+二次応力及びピーク応力の算出で用いている記号は以下の通り。

- S_n : 一次+二次応力 (MPa)
- S_p : ピーク応力(MPa)
- K_2, C_2 : 応力係数 (J S M E 設計・建設規格(2005/2007) PPB-3812.3)
- M_{iS} : 表 補4. 1より生じるモーメントの全振幅(モーメントの各方向をSRSS) (N・mm)
- Z : 管の断面係数(mm³)

③ 割増し係数 K_e の算出

②にて求めた一次+二次応力 S_n が $3 S_m$ 以上となるため、割増し係数 K_e を算出する。当該配管は J S M E 設計・建設規格(2005/2007)PVB-3315(2) a.(b)の場合に該当するため、割増し係数 K_e は以下の通りとなる（J S M E 設計・建設規格(2005/2007)PVB-84）。

$$K_e = K_e' = 1 + (q - 1) \left(1 - \frac{3S_m}{S_n} \right)$$

$$= \boxed{}$$

割増し係数 K_e の算出で用いている記号は以下の通り。

- S_m : 最高使用温度(302°C)における設計応力強さ (MPa)
 q : J S M E 設計・建設規格(2005/2007)表 PVB-3315-1 のうち RHR-PD-2 の材料である炭素鋼の値

④ 繰返しピーク応力強さの算出

ピーク応力 S_p 及び割増し係数 K_e を用い、繰返しピーク応力強さ S_l は以下の通りになる。（J S M E 設計・建設規格(2005/2007)PVB-82）

$$S_l = \frac{K_e \times S_p}{2} \boxed{} \quad (\text{MPa})$$

縦弾性係数 E による温度補正を行い、繰返しピーク応力強さ S_l' は以下となる。

$$S_l' = \boxed{} \quad 881(\text{MPa})$$

繰返しピーク応力強さの算出で用いている記号は以下の通り。

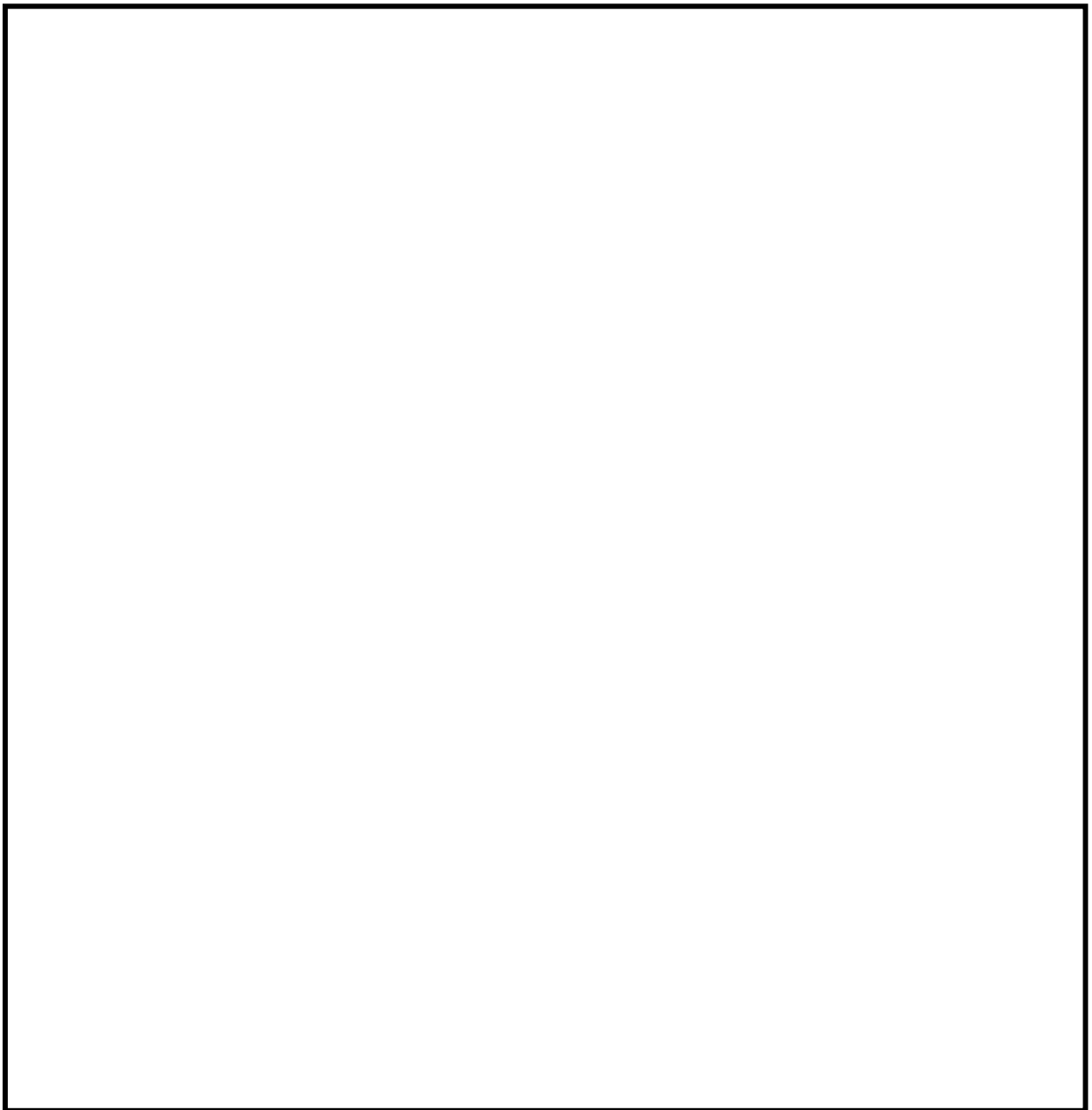
- S_l : 繰返しピーク応力 (温度補正前) (MPa)
 S_l' : 繰返しピーク応力 (温度補正後) (MPa)
 E : 最高使用温度(302°C)における縦弾性係数 (MPa)

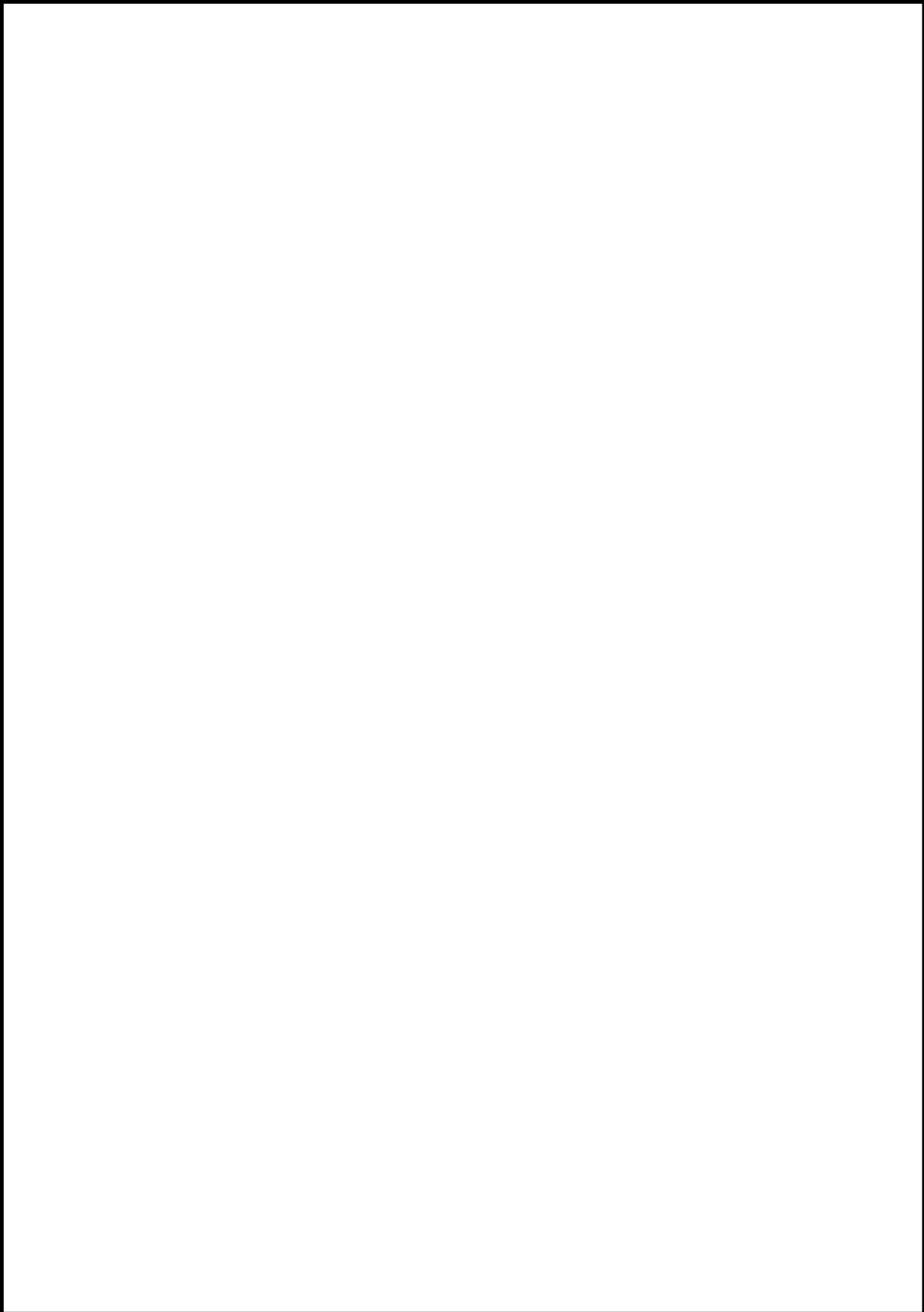
補足5 多方向入力を対象とした等価繰返し回数算定方法について

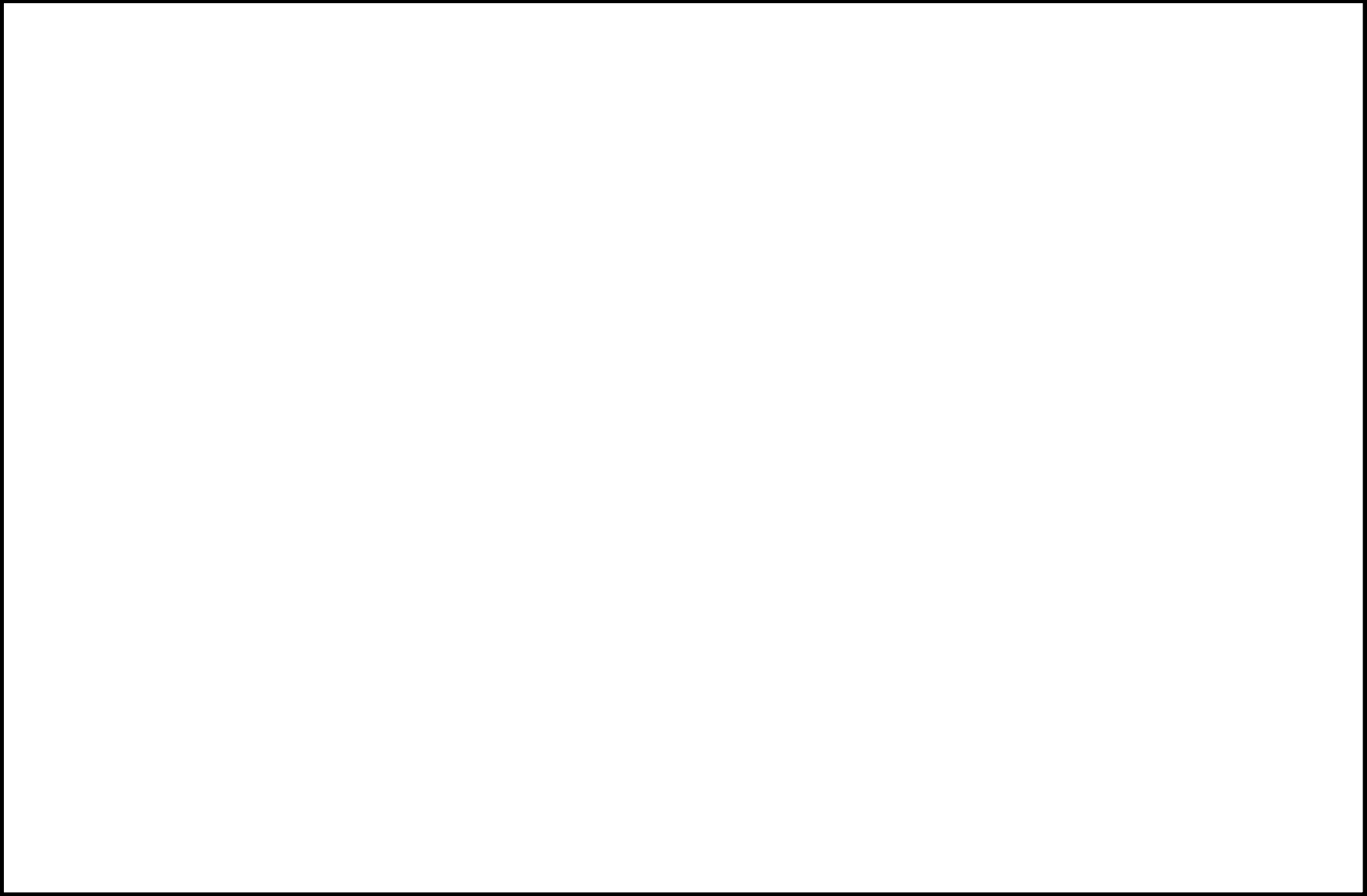
1. はじめに

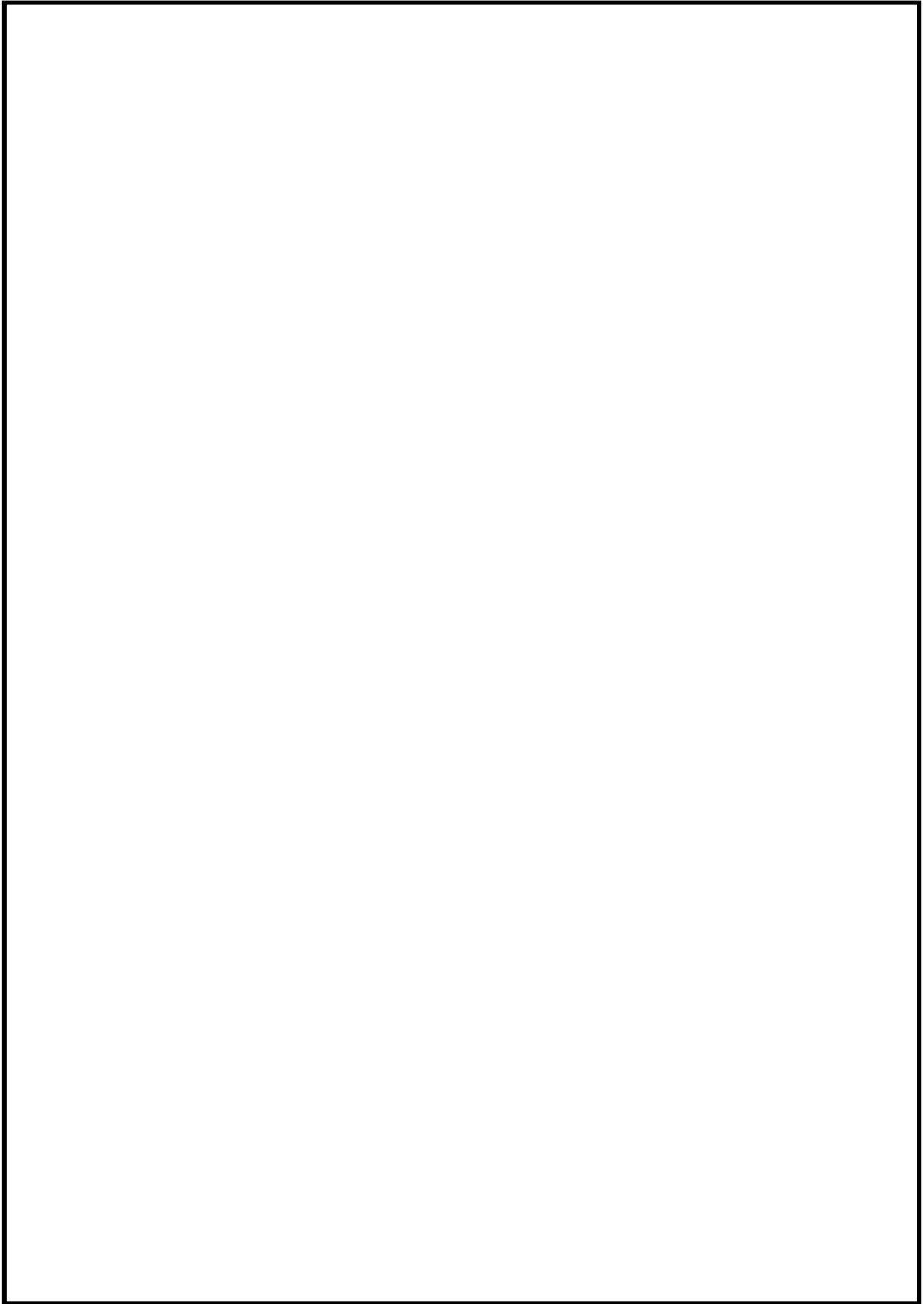
本資料は多方向入力を対象とした等価繰返し回数算定方法についてまとめたものである。

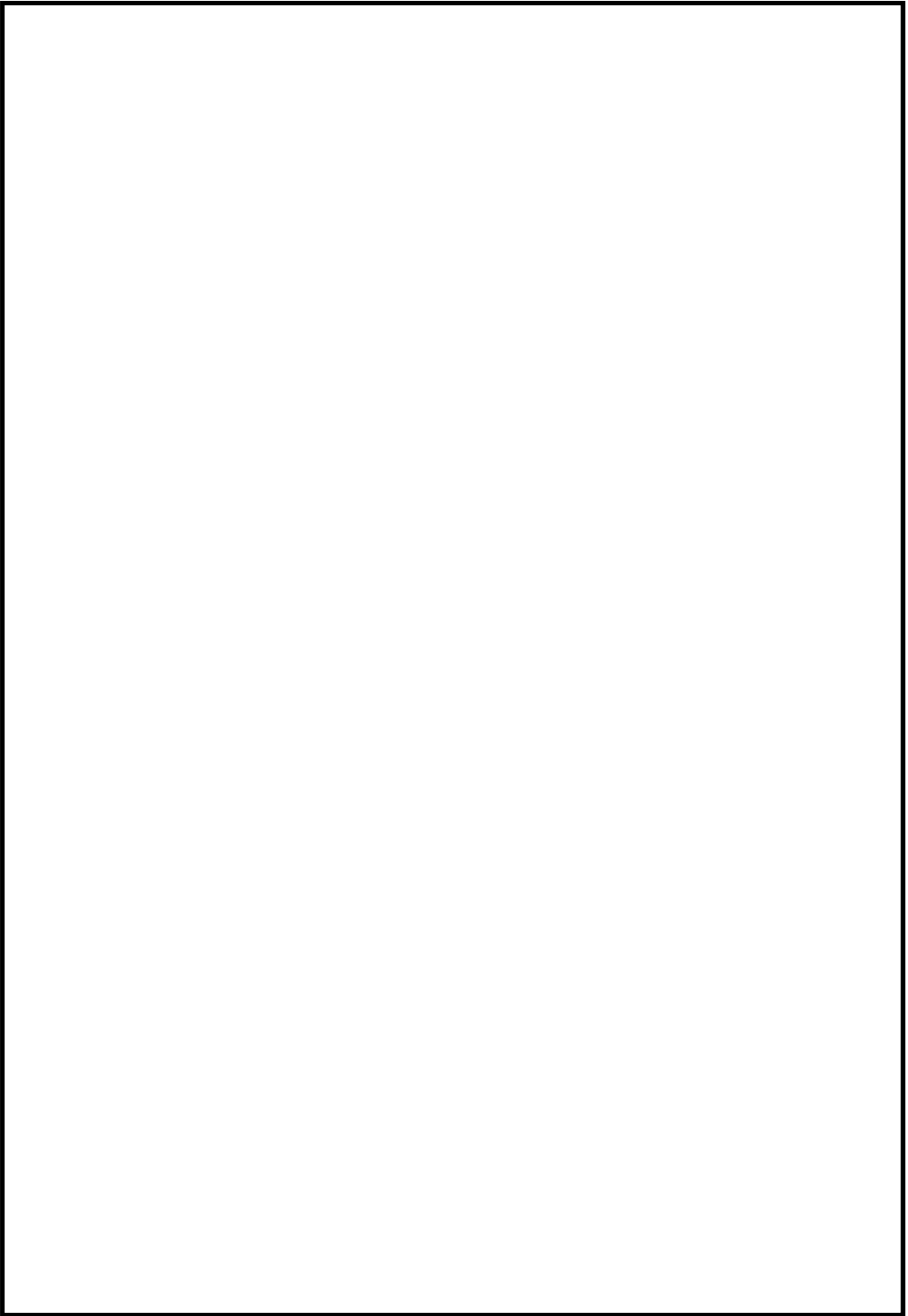
本内容は電共研「新規制基準対応を踏まえた機器・配管系評価方法に関する研究」(平成29年3月)にて検討されており、2項にて電共研における成果を示し、3項にて柏崎刈羽7号機において多方向入力時に各方向の等価繰返し回数の最大値を用いることは妥当であることを示すものである。



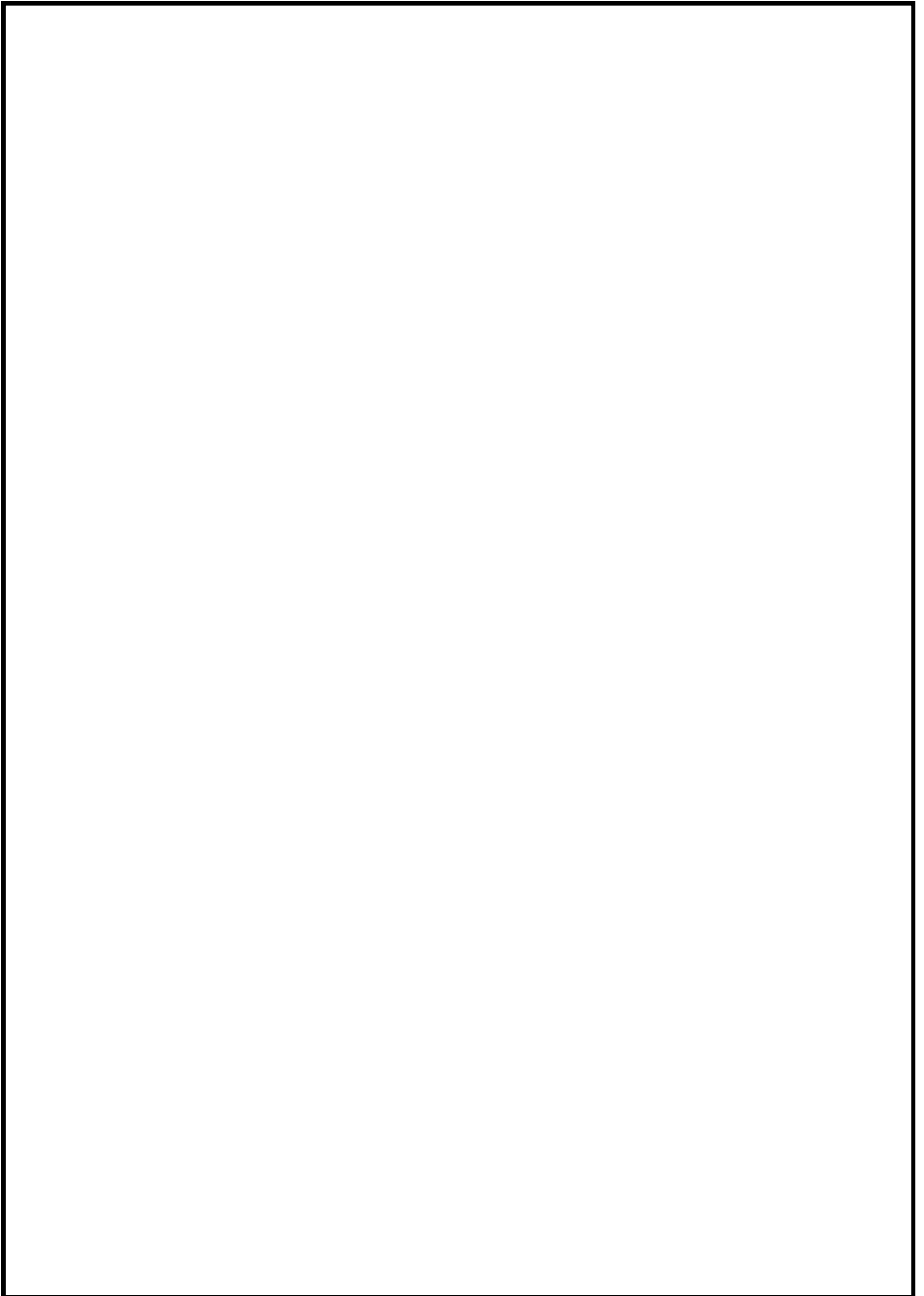


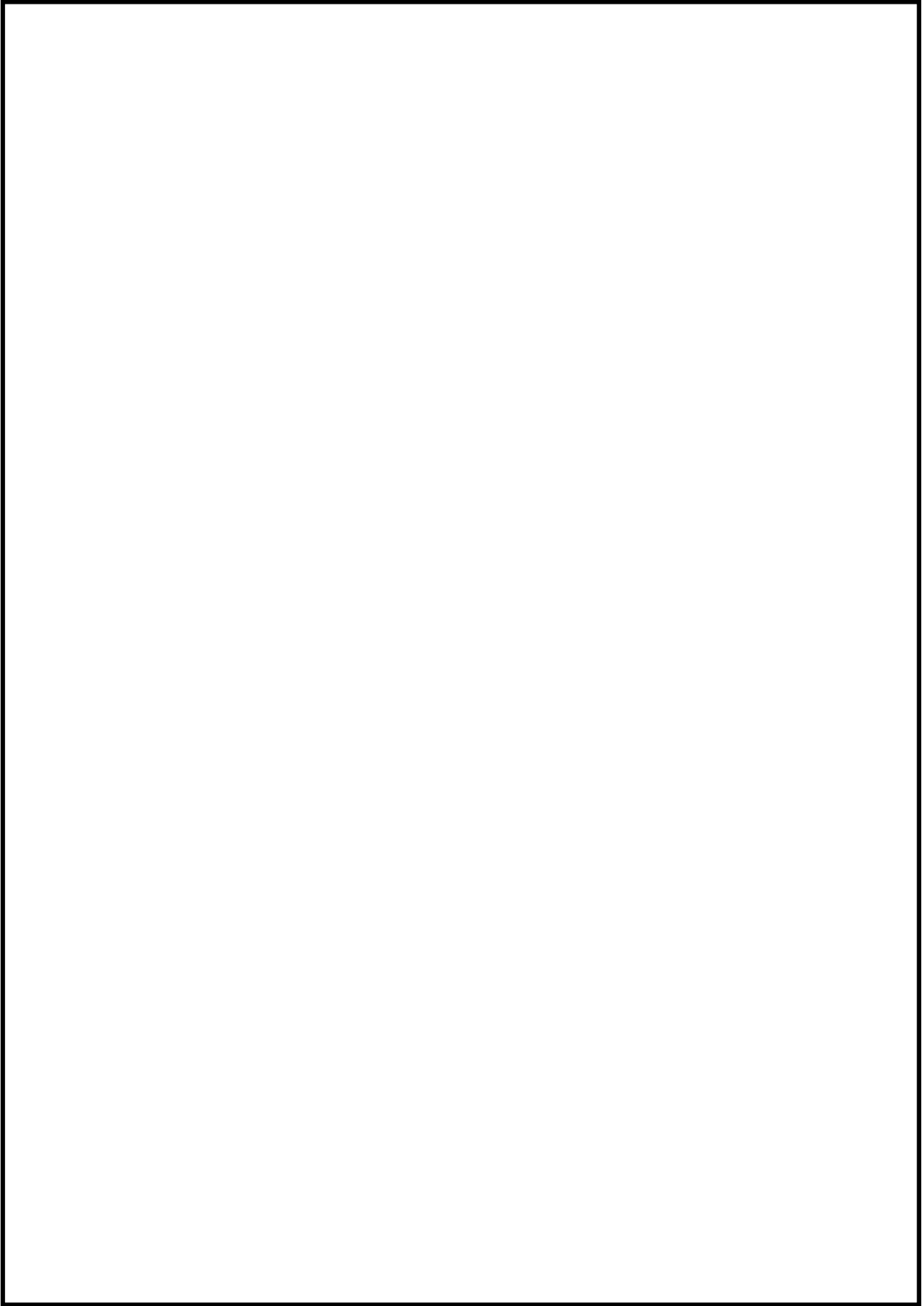


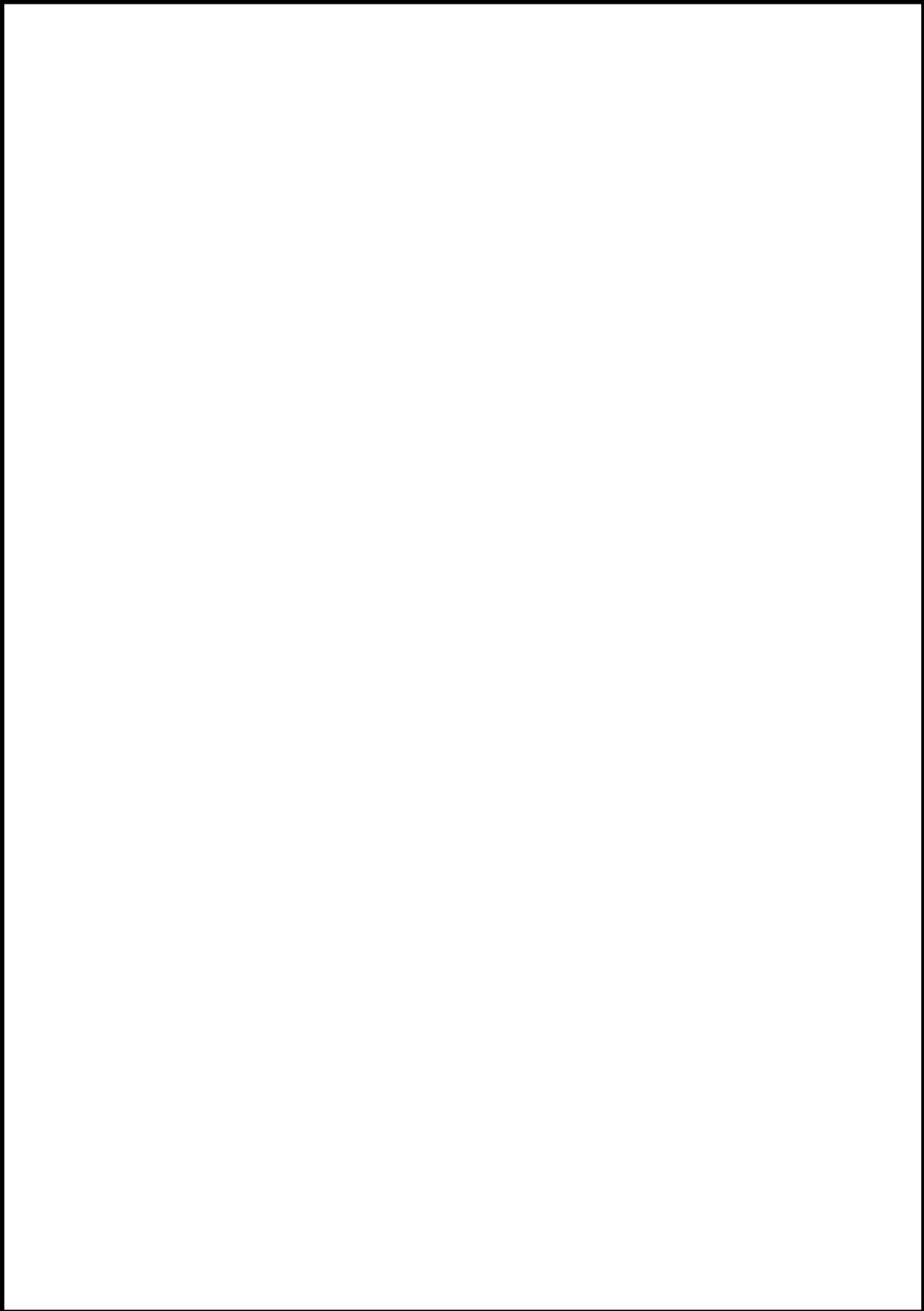


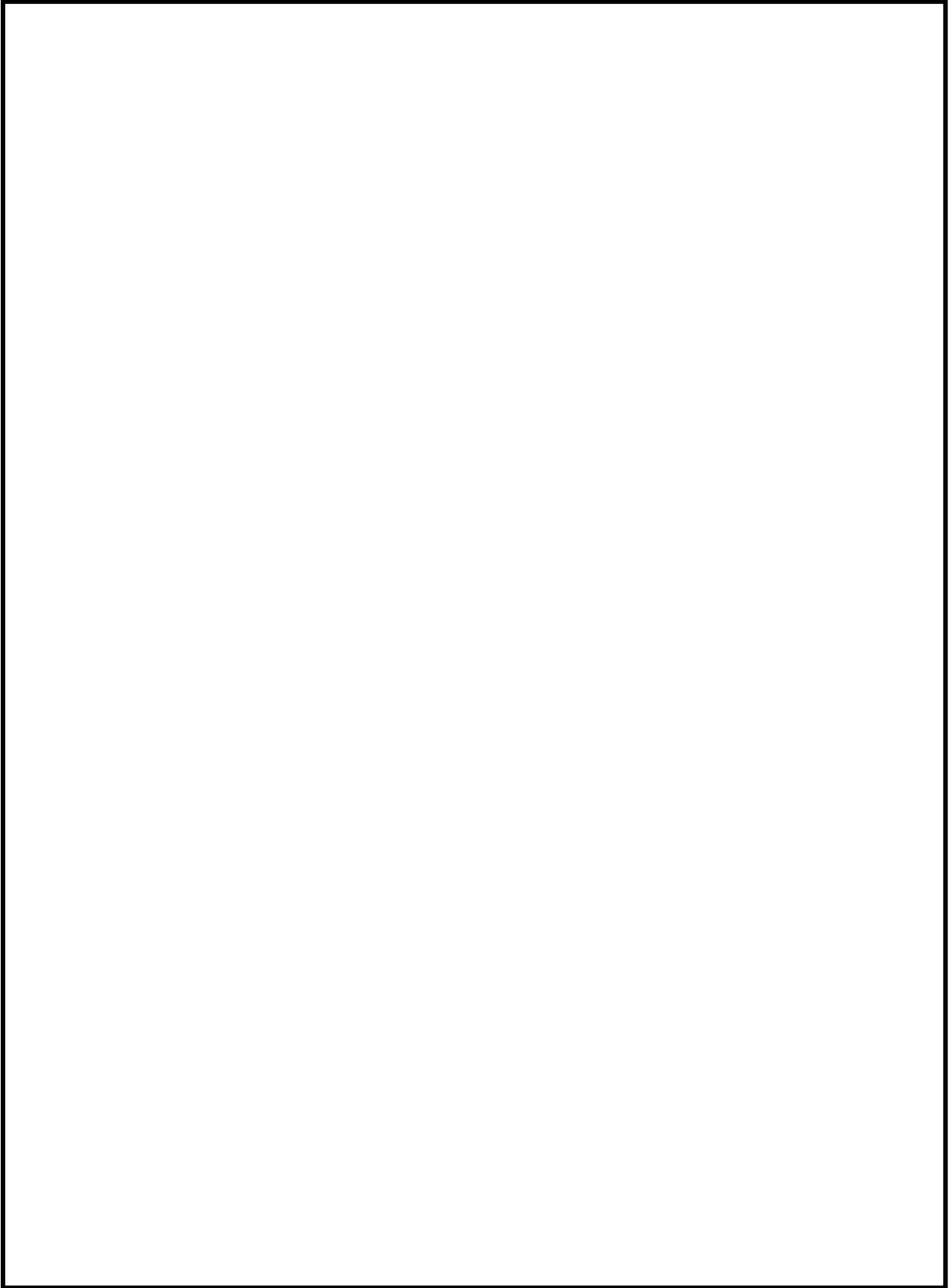


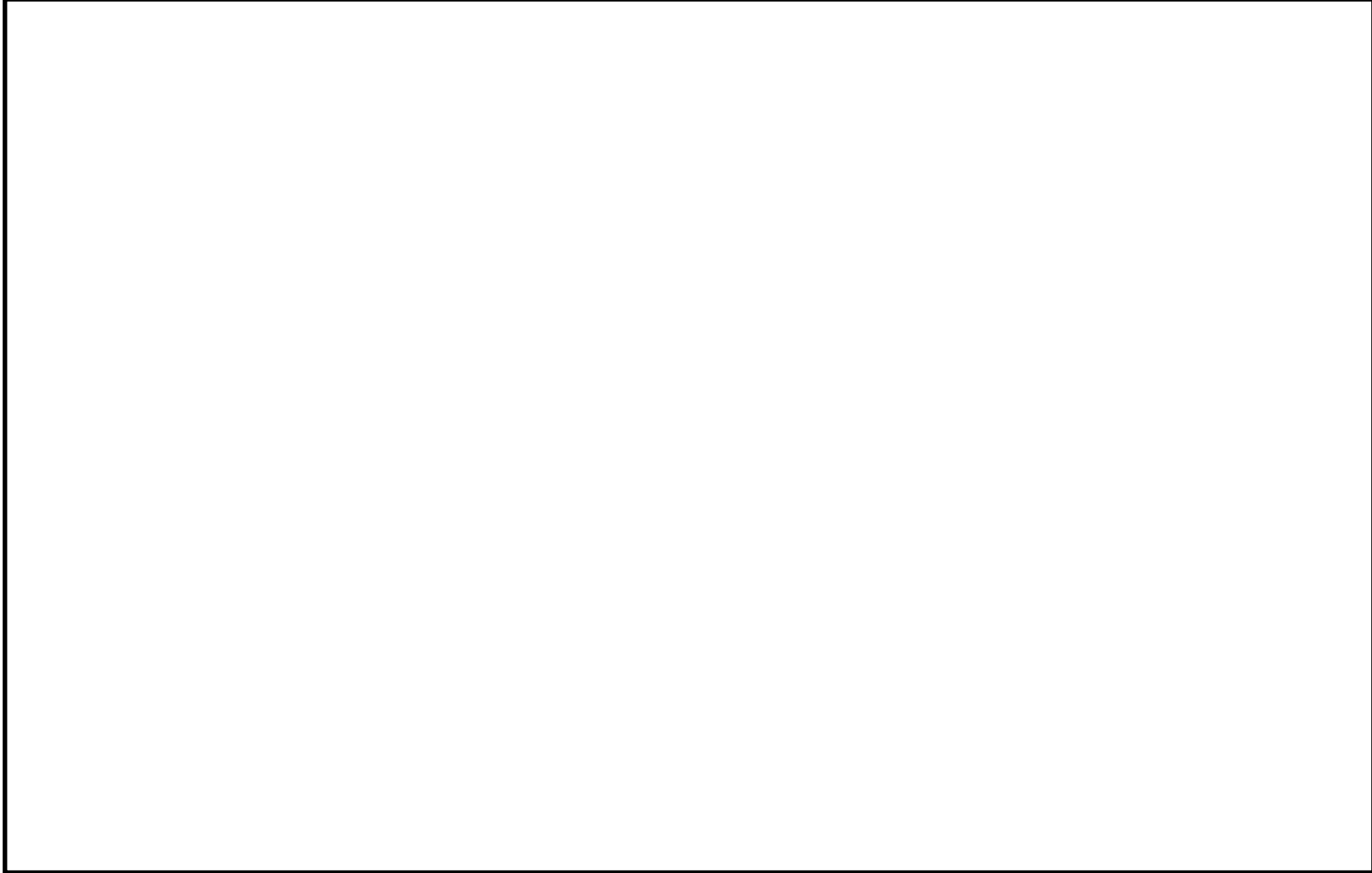


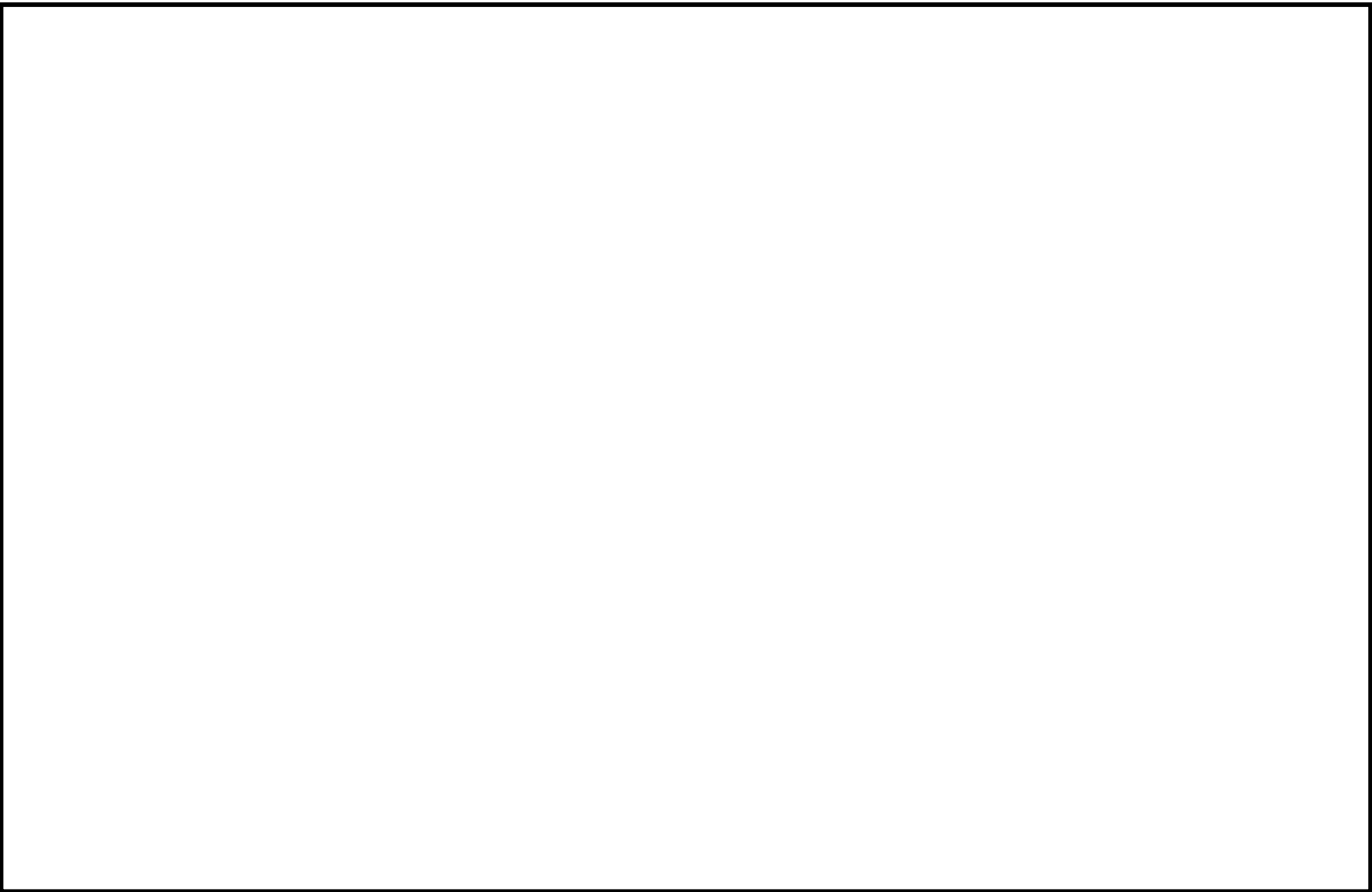






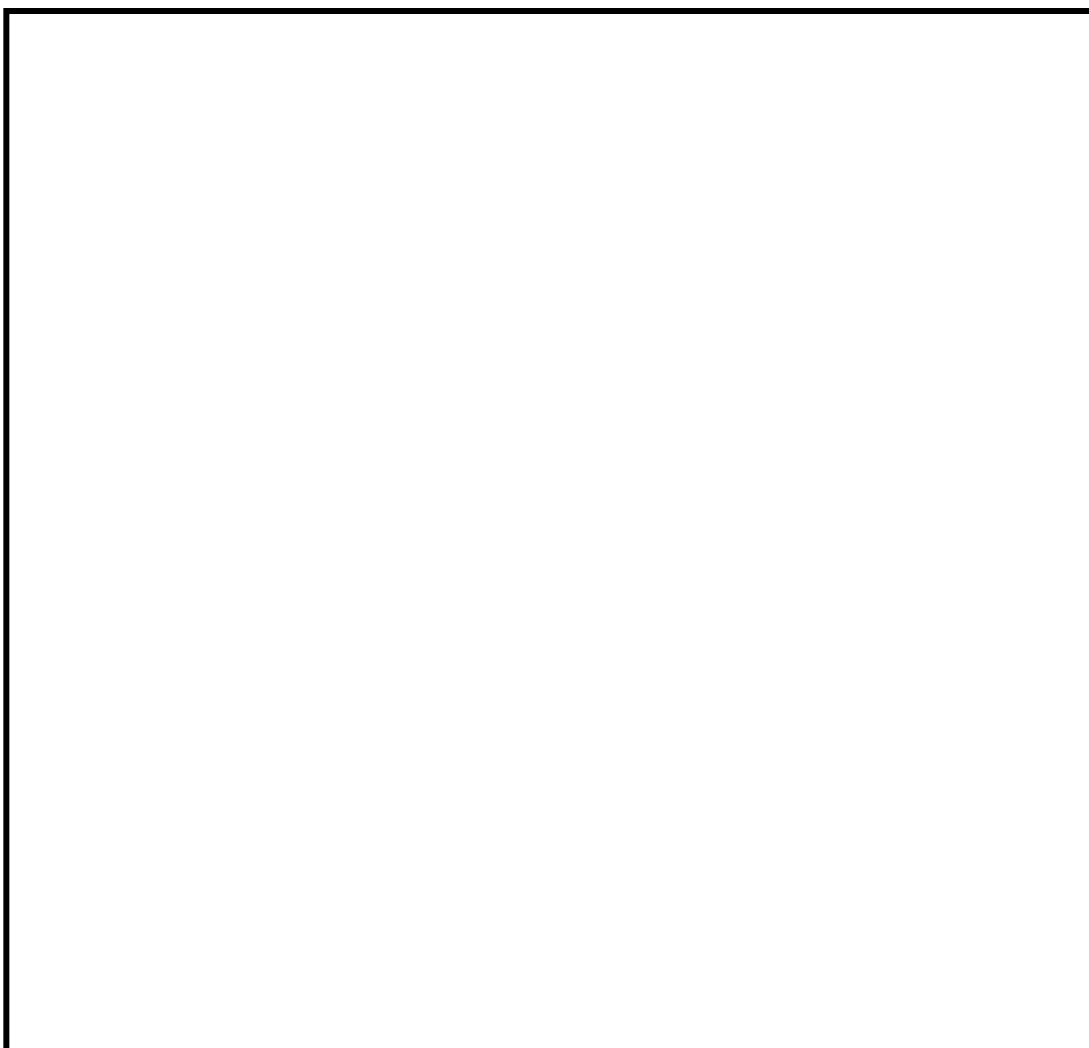


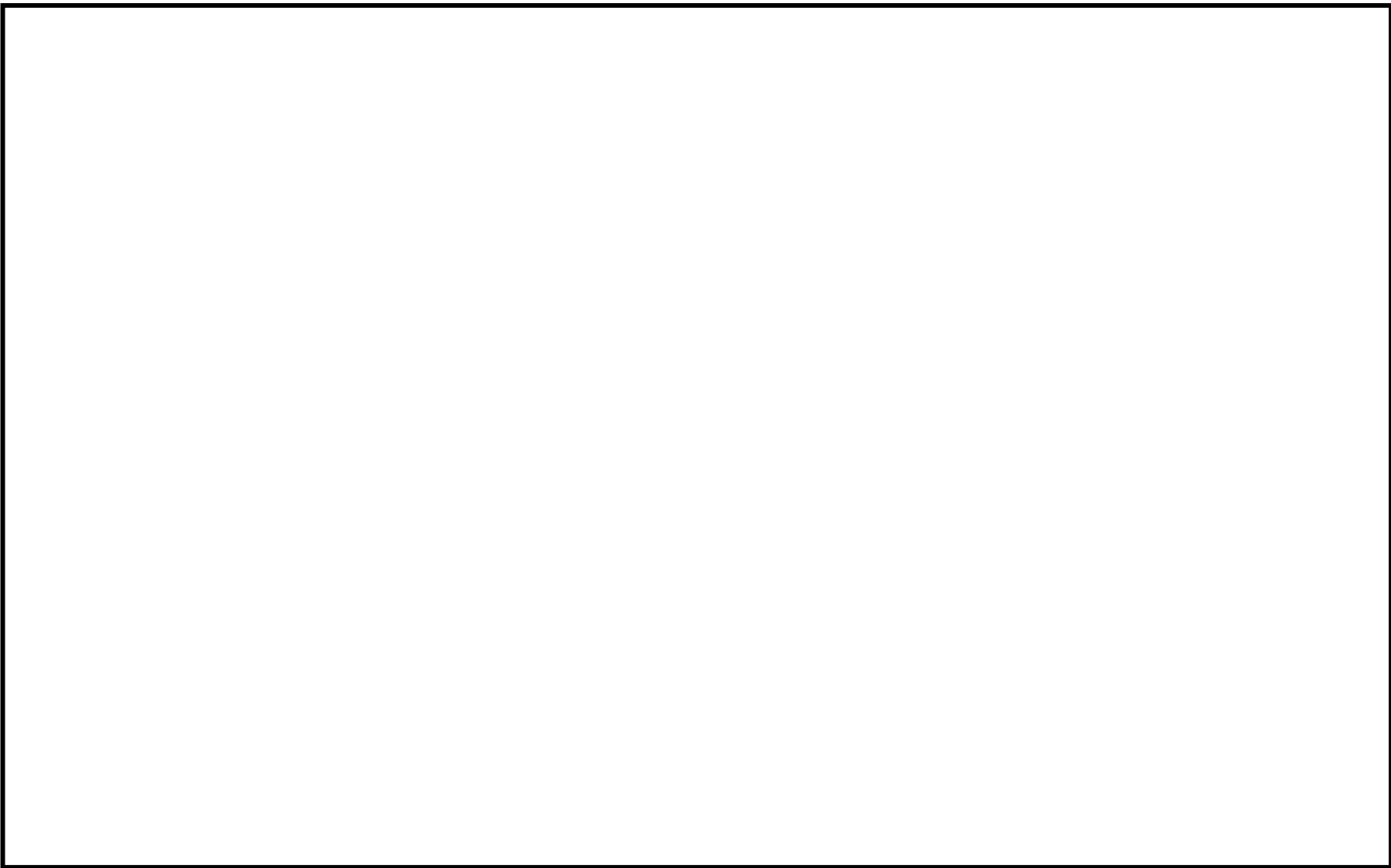




3. 柏崎刈羽7号機における多方向入力を対象とした等価繰返し回数算定方法について

2. 2. 2項において2方向同時入力の結果について纏めているが、下記理由により3方向同時入力に対しても同様に各方向の等価繰返し回数の最大値を用いることは妥当であると言える。





補足6 柏崎刈羽7号機 等価繰返し回数の保守性について

1. はじめに

柏崎刈羽7号機の今回工認では一律に設定する等価繰返し回数（ S_s ：200回， S_d ：200回）の設定を行っている。この設定の保守性について説明する。

2. 検討事項

本資料では以下項目を検討し、柏崎刈羽7号機の一律に設定する等価繰返し回数の設定の保守性を示す。

- (1) 等価繰返し回数算出パラメータの比較（3. 参照）
- (2) 柏崎刈羽7号機の地震動の特性を踏まえた保守性の整理（4. 参照）
- (3) 柏崎刈羽7号機の疲労評価に含まれる保守性の整理（5. 参照）

3. 等価繰返し回数算出パラメータの比較

本文3.（2）にて説明している等価繰返し回数の算出に用いるパラメータについて先行プラントと比較した結果を表 補6. 1に示す。

表 補6. 1より、先行と同等か、又は保守的に設定していることを確認した。

④-3は先行プラントと比較し差異があることを確認したが、柏崎刈羽7号機が有する地震動の特性を踏まえた保守性を4. にて検討する。

表 補6. 1 柏崎刈羽7号機 一律に設定する等価繰返し回数算出パラメータの整理

パラメータ	柏崎刈羽7号機	先行プラント（東海第二）	差異理由
①ピーク応力	1471MPa	1471MPa	差異なし。
②固有周期	全固有周期	全固有周期	差異なし。
③対象床面 (質点)	全床面(質点)	【原子炉建屋に設置された機器・配管系】 全床面(質点) 【原子炉格納容器, 原子炉压力容器等大型機器】 代表設備の設置床面	先行の代表性を持たせた床面(質点)を対象とする代わりに, 柏崎刈羽7号機は工認添付にて耐震条件を作成する全床面(質点)を対象としている。
④-1 地震動 (基準地震動 S_s の種類)	基準地震動 S_s ($S_s-1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$)の全8波を考慮。	基準地震動 S_s ($S_s-D, 11, 12, 13, 14, 21, 22, 31$)の全8波を考慮。	差異なし。
④-2 地震動 (基準地震動 S_s の等価繰返し回数 の算出用)	基準地震動 S_s 1回分に加えてNCO及び弾性設計用地震動 S_d の1/3倍した地震動5回分を考慮。	基準地震動 S_s 1回分を考慮。	柏崎刈羽7号機は米国の知見を参考に, 弾性設計用地震動 S_d の1/3倍した地震動5回分を, 本来考慮すべき基準地震動 S_s 1回分に対して追加している。また, 過去に経験したNCOも追加する。

表 補6. 1 柏崎刈羽7号機 一律に設定する等価繰返し回数算出パラメータの整理(続き)

パラメータ	柏崎刈羽7号機	先行 (東海第二)	差異理由
④-3 地震動 (弾性設計用地震動S _d の設定)	基準地震動S _s の等価繰返し回数と同じ等価繰返し回数を用いる。	弾性設計用地震動S _d の発生回数は基準地震動S _s より発生頻度が高いため弾性設計用地震動S _d 2回分を考慮。	柏崎刈羽7号機では、基準地震動S _s の等価繰返し回数を用いることで、ピーク応力、算出用地震動(S _s ×1回+(1/3)S _d ×5回+NCO)で保守性を持たせている。 なお、基準地震動S _s による疲れ累積係数UFが大きい設備に対し、個別に設定する等価繰返し回数を設定することで疲れ累積係数UFが0.5程度となることを確認しており(補足6.5参照)、弾性設計用地震動S _d による疲れ累積係数UFは、基準地震動S _s による疲れ累積係数UFより小さくなることを考えると、先行プラントと同様に概ね弾性設計用地震動S _d 2回分の耐震性を有していると考えられる。
⑤減衰定数	0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 4.0, 5.0(%)	0.5,1.0(%)	等価繰返し回数の算出を網羅的に実施するため、機器・配管系の設備評価によく用いられる8減衰を用いる。
⑥設計疲労線図	炭素鋼, 低合金鋼および高張力鋼	炭素鋼, 低合金鋼および高張力鋼	差異なし。
⑦材料物性の不確かさ等の考慮	地震応答解析モデルの材料物性の不確かさ等による影響を考慮。	建屋剛性及び地盤物性の影響検討を実施。	柏崎刈羽7号機では不確かさ等のケースを含めて設定している。

4. 柏崎刈羽 7 号機の地震動の特性を踏まえた保守性の整理

等価繰返し回数を用いた疲労評価において、疲れ累積係数UFは以下の式にて算出される。

$$UF = \frac{N_e}{N_0}$$

N_e : 地震による等価繰返し回数

N_0 : 疲労評価対象設備に発生するピーク応力での許容繰返し回数

本来であれば、等価繰返し回数 N_e と許容繰返し回数 N_0 は同一の地震動を基に算出した値を用いて疲労評価を行えば良いが、柏崎刈羽 7 号機では基準地震動が複数 ($S_{s-1} \sim S_{s-8}$) 存在するため、基準地震動 $S_{s-1} \sim S_{s-8}$ の等価繰返し回数を包絡した上で、一律に設定する等価繰返し回数を 200 回と定めている。

また、許容繰返し回数を算出するためのピーク応力を求める際にも、基準地震動 $S_{s-1} \sim S_{s-8}$ の耐震条件 (床応答スペクトル, 最大応答加速度) を包絡させた上で、応力計算を実施している。

したがって、疲れ累積係数UFは基準地震動ごとの組合せを考慮せず、全ての基準地震動において最も厳しい (等価繰返し回数は大きい, 許容繰返し回数は小さい) 値を用いて求めているため、疲れ累積係数UFは保守的な値となる。

そこで、柏崎刈羽 7 号機において許容繰返し回数及び等価繰返し回数が厳しくなる地震動を整理し、疲労評価における地震動の特性を踏まえた保守性を整理する。

(1) 許容繰返し回数が厳しくなる (小さくなる) 地震動

許容繰返し回数は各疲労評価対象設備のピーク応力により定まる値であり、ピーク応力が大きくなるほど、許容繰返し回数は小さくなる。設備評価におけるピーク応力の大小は、その評価条件である地震力と比例することから、加速度の大きい地震動を確認する。疲労評価対象設備が多く設置されている原子炉建屋の最大応答加速度及び一部の床応答スペクトルを表 補 6. 2 及び図 補 6. 1 に示す。その結果、いずれも基準地震動 S_{s-1} 及び S_{s-2} が支配的であることが確認できた。

また、本文 3. (3) に記載の通り等価繰返し回数に対して支配的な地震動は S_{s-3} 系であるが、基準地震動 S_{s-3} の最大応答加速度は、基準地震動 S_{s-1} 及び S_{s-2} より 1~4 割程度小さくなっている。仮にこの割合をピーク応力 1471MPa に対して適用し、設計疲労線図より許容繰返し回数を求めると、基準地震動 S_{s-1} 及び S_{s-2} に対し基準地震動 S_{s-3} の許容繰返し回数は 1.2~3.4 倍になる。

表 補6. 2 (1) 基準地震動 S_s ごとの最大応答加速度 (原子炉建屋の地震応答解析モデル：水平方向)

構造物名	質点 番号	標高 T. M. S. L. (m)	最大応答加速度($\times 9.80665\text{m/s}^2$) $\times 1.0$																包絡値
			S _s -1		S _s -2		S _s -3		S _s -4		S _s -5		S _s -6		S _s -7		S _s -8		
			NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	
原子炉建屋	1	49.700	1.81	1.69	1.12	1.48	1.11	1.04	0.81	0.93	0.69	1.04	0.83	0.95	0.69	1.20	1.48	1.38	1.81
	2	38.200	1.25	1.29	0.88	1.18	0.91	0.86	0.63	0.71	0.53	0.87	0.65	0.73	0.51	0.92	1.15	1.10	1.29
	3	31.700	1.12	1.05	0.79	1.12	0.80	0.77	0.54	0.63	0.49	0.79	0.56	0.65	0.45	0.82	1.03	0.97	1.12
	4	23.500	0.95	0.92	0.69	1.00	0.70	0.70	0.44	0.63	0.44	0.70	0.46	0.67	0.40	0.71	0.94	0.92	1.00
	5	18.100	0.85	0.83	0.61	0.94	0.65	0.63	0.38	0.63	0.40	0.65	0.39	0.67	0.35	0.65	0.84	0.84	0.94
	6	12.300	0.76	0.79	0.54	0.86	0.61	0.61	0.33	0.62	0.36	0.60	0.33	0.66	0.30	0.61	0.74	0.76	0.86
	7	4.800	0.67	0.70	0.51	0.81	0.58	0.58	0.28	0.56	0.32	0.53	0.28	0.60	0.29	0.58	0.64	0.66	0.81
	8	-1.700	0.71	0.71	0.47	0.85	0.60	0.58	0.26	0.50	0.30	0.51	0.29	0.54	0.27	0.57	0.57	0.58	0.85
	9	-8.200	0.60	0.60	0.46	0.74	0.64	0.63	0.28	0.45	0.27	0.51	0.31	0.48	0.26	0.57	0.51	0.52	0.74
	10	-13.700	0.65	0.63	0.47	0.71	0.68	0.67	0.28	0.44	0.27	0.51	0.32	0.46	0.26	0.59	0.48	0.49	0.71

 : 当該質点で最大となる地震動

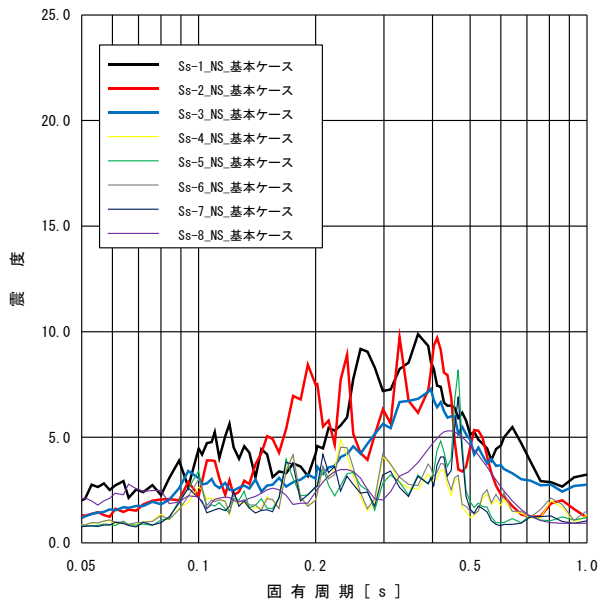
(V-2-1-7 「設計用床応答曲線の作成方針」 p3-2 に加筆)

表 補6. 2 (2) 基準地震動 S_s ごとの最大応答加速度 (原子炉建屋の地震応答解析モデル：鉛直方向)

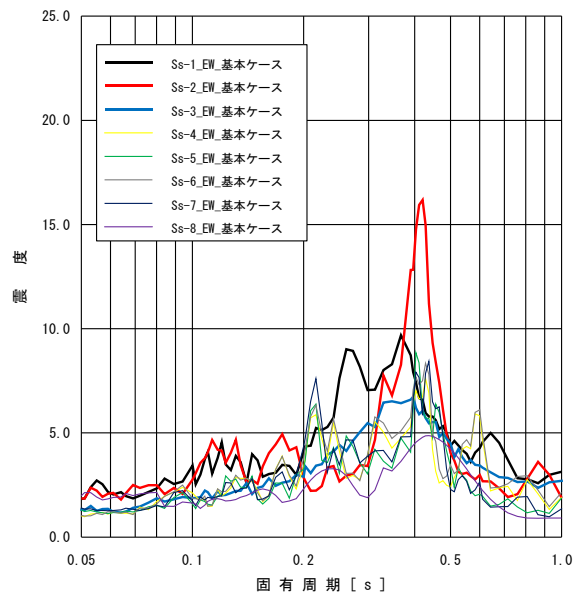
構造物名	質点 番号	標高 T. M. S. L. (m)	最大応答加速度 ($\times 9.80665\text{m/s}^2$) $\times 1.0$								包絡値
			S _s -1	S _s -2	S _s -3	S _s -4	S _s -5	S _s -6	S _s -7	S _s -8	
			鉛直	鉛直	鉛直	鉛直	鉛直	鉛直	鉛直	鉛直	
原子炉建屋	1	49.700	0.98	0.63	0.67	0.49	0.48	0.51	0.49	0.37	0.98
	2	38.200	0.95	0.61	0.63	0.46	0.47	0.48	0.48	0.32	0.95
	3	31.700	0.91	0.60	0.62	0.44	0.46	0.46	0.46	0.29	0.91
	4	23.500	0.89	0.59	0.61	0.43	0.45	0.45	0.45	0.28	0.89
	5	18.100	0.87	0.58	0.61	0.42	0.44	0.43	0.43	0.27	0.87
	6	12.300	0.85	0.57	0.60	0.40	0.43	0.43	0.42	0.25	0.85
	7	4.800	0.83	0.54	0.60	0.39	0.42	0.42	0.39	0.24	0.83
	8	-1.700	0.80	0.52	0.60	0.39	0.41	0.41	0.37	0.25	0.80
	9	-8.200	0.79	0.50	0.60	0.38	0.40	0.39	0.35	0.26	0.79
	10	-13.700	0.79	0.50	0.60	0.38	0.40	0.39	0.35	0.26	0.79

: 当該質点で最大となる地震動

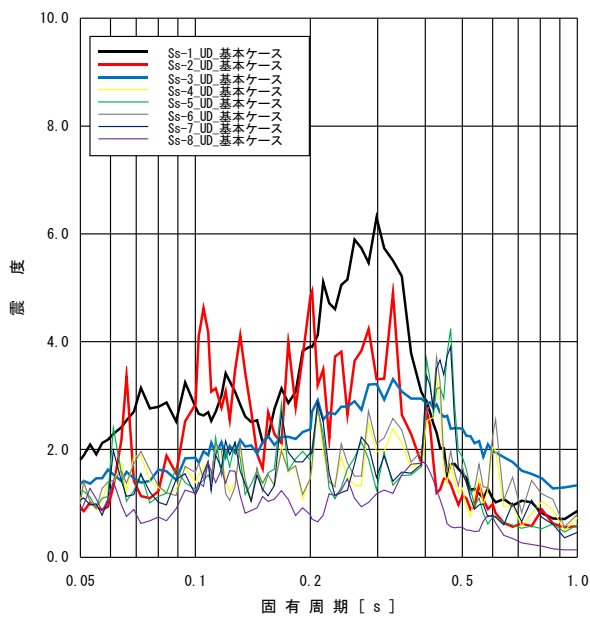
(V-2-1-7 「設計用床応答曲線の作成方針」 p3-3 に加筆)



(a) NS 方向



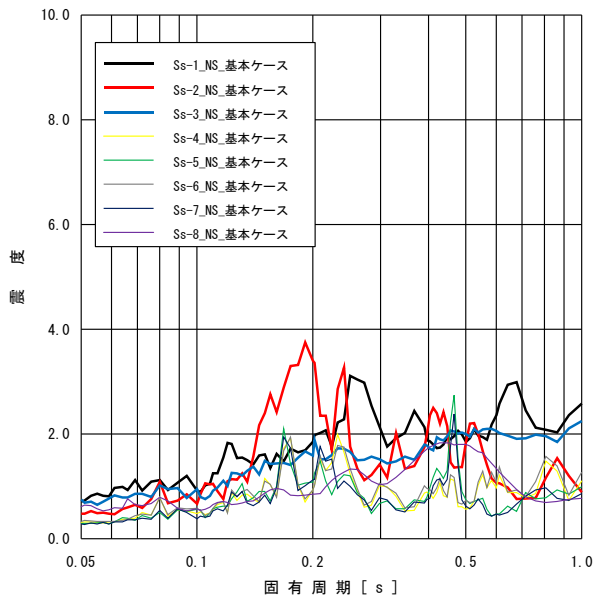
(b) EW 方向



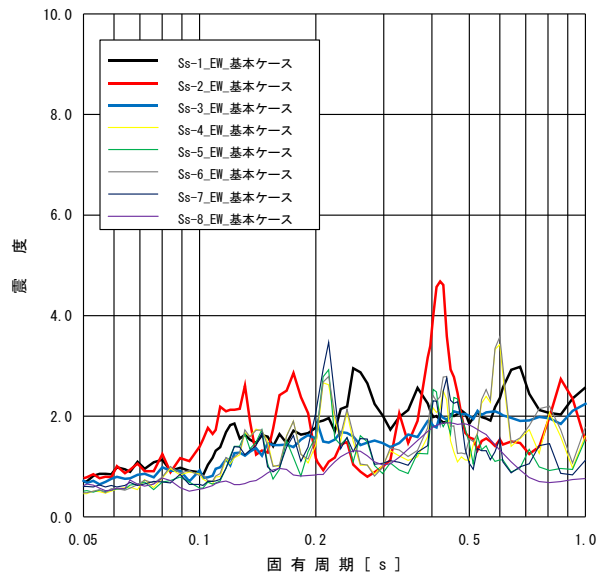
(c) 鉛直方向

図 補 6. 1 (1) 原子炉建屋の床応答スペクトル

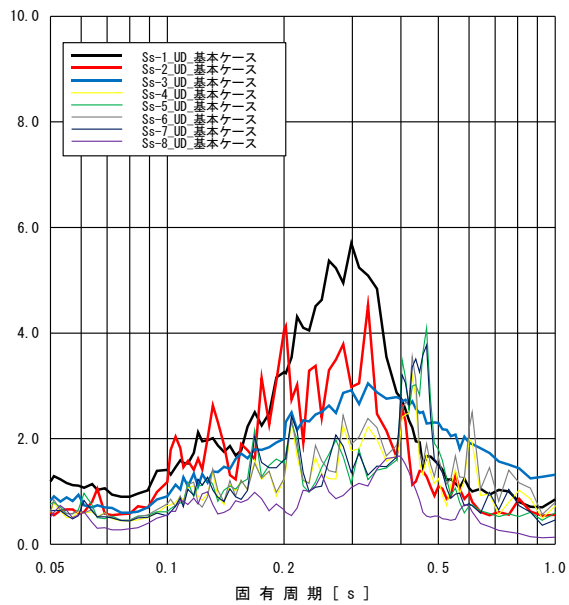
(T.M.S.L.49.700m, 減衰 1.0%)



(a) NS 方向



(b) EW 方向



(c) 鉛直方向

図 補6. 1 (2) 原子炉建屋の床応答スペクトル

(T.M.S.L.-8.200m, 減衰 1.0%)

(2) 等価繰返し回数が厳しくなる（大きくなる）地震動

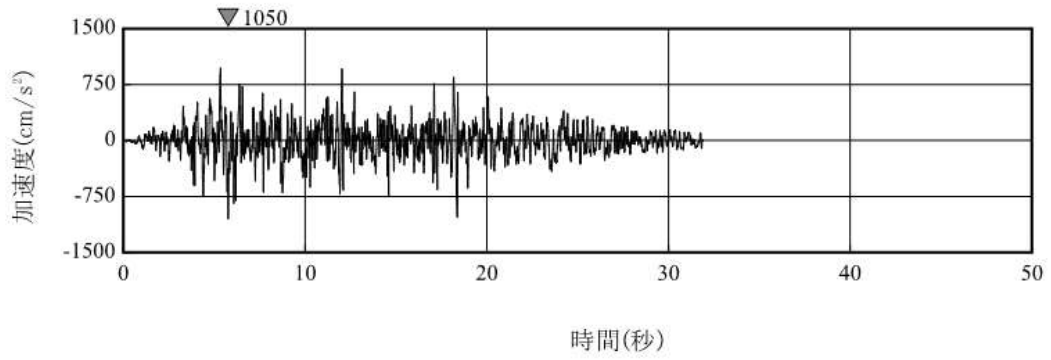
基準地震動 $S_s - 1 \sim 3$ の解放基盤表面における加速度時刻歴波形を図 補 6. 2 に示す。また、基準地震動 $S_s - 1 \sim S_s - 8$ の継続時間を表 補 6. 3 に示す。

今回工認の等価繰返し回数の算出に用いるピーク応力法は、時刻歴波形の最大値に対応するピーク応力を仮定して、等価繰返し回数の算出を行う手法である。この手法の特徴から、地震動波形の加速度振幅の最大値は等価繰返し回数の算出に大きな影響を与えないと考えられる。一方で、最大加速度振幅に近い加速度振幅が多く、加えて、継続時間が長い地震動が等価繰返し回数を大きく算出すると考えられる。

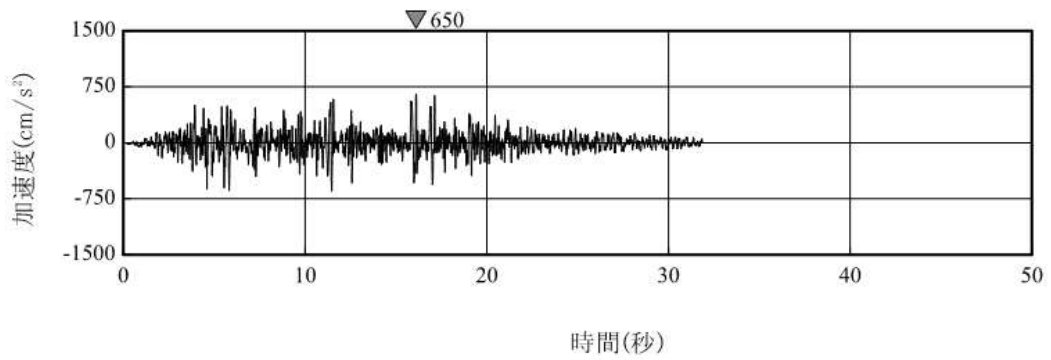
図 補 6. 2 より、基準地震動 $S_s - 3$ の最大加速度振幅は基準地震動 $S_s - 1$ 及び $S_s - 2$ と比べて小さいものの、最大加速度振幅に近い加速度振幅が多く続く波形である。更に、地震動のうち等価繰返し回数算出に有意な影響を与える主要な地震動が続く時間は基準地震動 $S_s - 3$ が基準地震動 $S_s - 1$ 及び $S_s - 2$ と比べて長い波形となっている。

全 8 波の地震動の等価繰返し回数の最大値を地震応答解析モデル毎に整理した結果を表 補 6. 4 に示す。表より $S_s - 3$ 系の地震動が最大の回数となっており、この回数を基に一律に設定する等価繰返し回数を 200 回としている。

ここで、(1) の結果から、許容繰返し回数が厳しくなる地震動は基準地震動 $S_s - 1$ 及び $S_s - 2$ であるため、それらの地震動の等価繰返し回数を一律に設定する等価繰返し回数 200 回と比較すると、0.2~0.8 倍ほどの小さい値となる。このため、地震動毎に見れば一律に設定する等価繰返し回数は十分に保守的に設定されている。



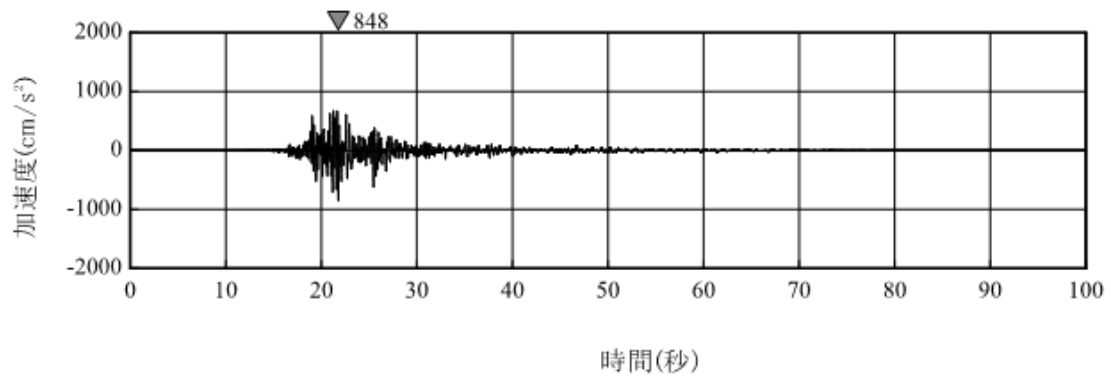
(a) Ss-1H



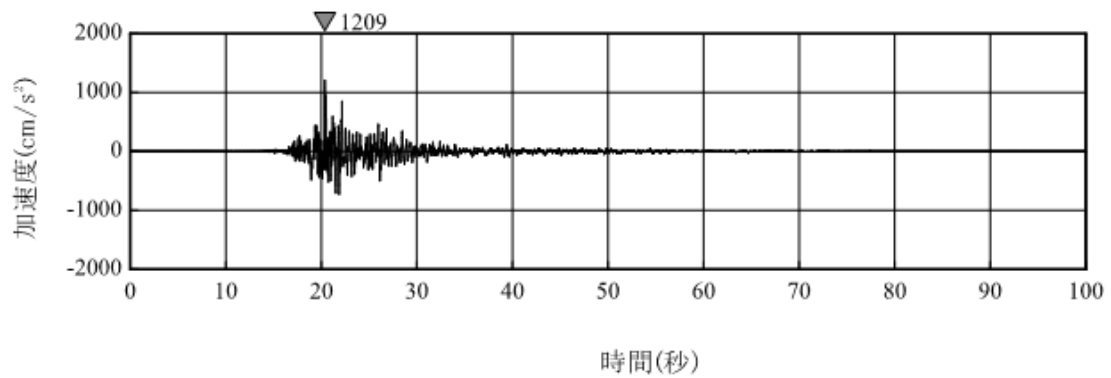
(b) Ss-1V

(V-2-1-2 「基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d の策定概要」 p157 より抜粋)

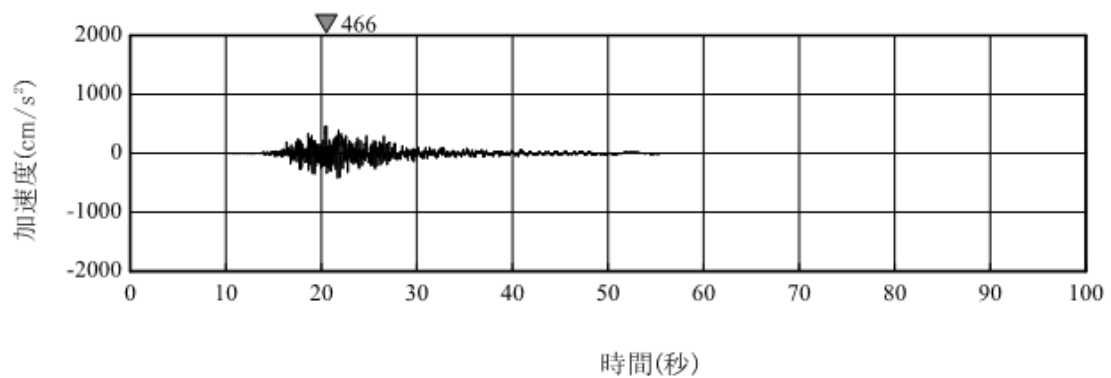
図 補6. 2 (1) 基準地震動 $S_s - 1$ の加速度時刻歴波形(大湊側)



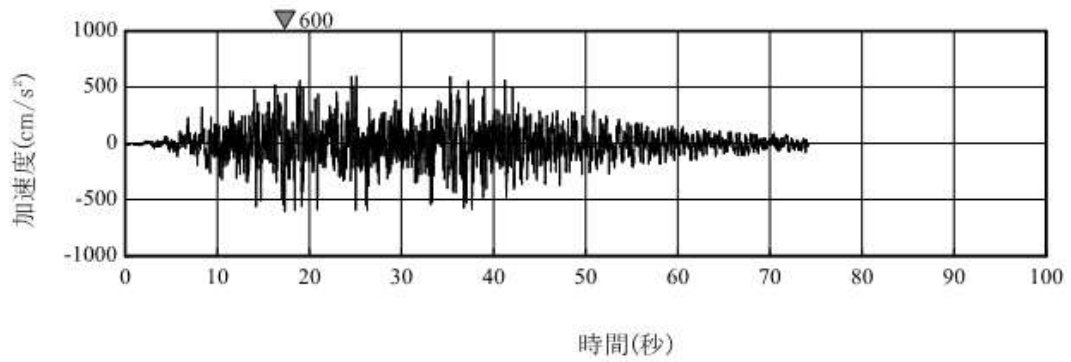
(a) Ss-2NS



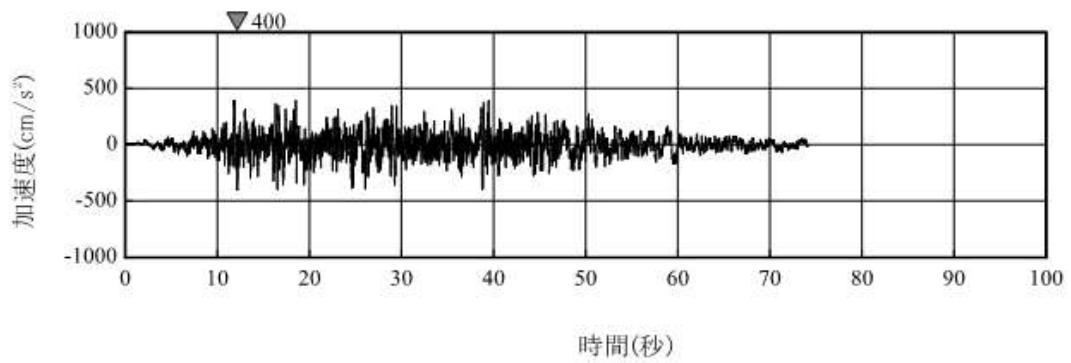
(b) Ss-2EW



(V-2-1-2 「基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d の策定概要」 p159 より抜粋)
 図 補 6. 2 (2) 基準地震動 S_s - 2 の加速度時刻歴波形(大湊側)



(a) Ss-3H



(b) Ss-3V

(V-2-1-2 「基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d の策定概要」 p160 より抜粋)

図 補 6. 2 (3) 基準地震動 S_s - 3 の加速度時刻歴波形

(荒浜側と大湊側で共通)

表 補6.3 解放基盤表面における基準地震動S_sの継続時間

	継続時間 (sec)
S _s - 1	32
S _s - 2	108
S _s - 3	74
S _s - 4	127
S _s - 5	127
S _s - 6	149
S _s - 7	148
S _s - 8	20

表 補6. 4 地震応答解析モデルの地震動ごとの等価繰返し回数の最大値（基本ケース）

(地震応答解析モデル毎に減衰定数・方向・算出点を包絡した最大の回数)

	Ss-1×1 + 1/3Sd-1×5 + NCO	Ss-2×1 + 1/3Sd-2×5 + NCO	Ss-3×1 + 1/3Sd-3×5 + NCO	Ss-4×1 + 1/3Sd-4×5 + NCO	Ss-5×1 + 1/3Sd-5×5 + NCO	Ss-6×1 + 1/3Sd-6×5 + NCO	Ss-7×1 + 1/3Sd-7×5 + NCO	Ss-8×1 + 1/3Sd-8×5 + NCO	一律に 設定する 等価繰返 し回数
地震応答解析モデル									
原子炉建屋の 地震応答解析モデル									200
大型機器系の 地震応答解析モデル									
炉内構造物系の 地震応答解析モデル									
タービン建屋の 地震応答解析モデル									
コントロール建屋の 地震応答解析モデル									
廃棄物処理建屋の 地震応答解析モデル									

(3) 柏崎刈羽7号機の地震動の特性を踏まえた保守性の整理

(1)(2)より確認した基準地震動 S_{s-1} 、 S_{s-2} 及び S_{s-3} における等価繰返し回数及び許容繰返し回数の大小関係と、疲れ累積係数 $UF (=N_e/N_0)$ の算出における今回工認の疲労評価手法を表 補6.5に示す。

許容繰返し回数を小さくする地震動が S_{s-1} 及び S_{s-2} であり、等価繰返し回数を大きくする地震動が S_{s-3} である。

表 補6.5 各基準地震動と今回工認における繰返し回数の整理

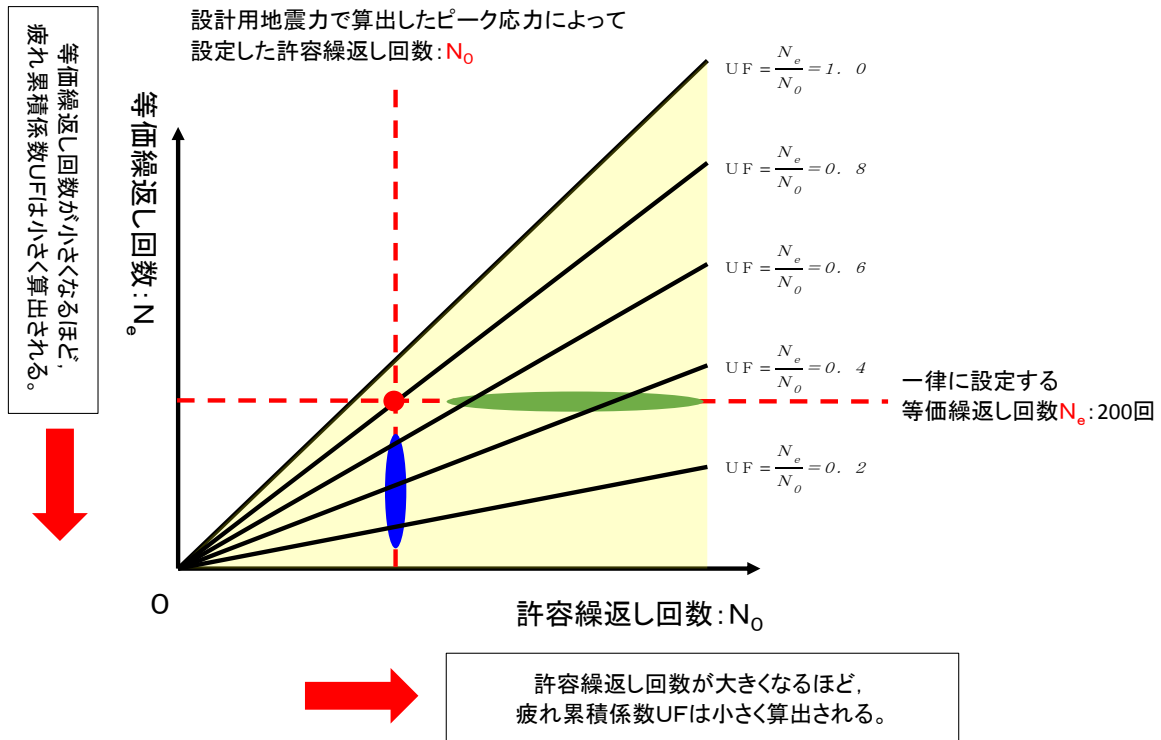
	今回工認における 疲労評価手法	S_{s-1} 及び S_{s-2} を用いて 疲労評価	S_{s-3} を用い て疲労評価
等価繰返し 回数(N_e)	大： S_{s-3} が支配的 (一律に設定する等価繰返し回数 200 回)	小	大
	1*	0.2~0.8*	1*
許容繰返し 回数(N_0)	小： S_{s-1} 及び S_{s-2} が支配的 (設計用地震力 I 又は II に基づき算出)	小	大
	1*	1*	1.2~3.4*
疲れ累積係数 ($UF = N_e/N_0$)	1* (= 1 / 1)	0.2~0.8* (= 0.2~0.8 / 1)	0.3~0.9* (= 1 / 1.2~3.4)

※：今回工認における各値を1とした場合の基準地震動 S_{s-1} 、 S_{s-2} 及び S_{s-3} における割合

基準地震動 S_{s-3} にて疲労評価を実施した場合、(1)より疲れ累積係数 UF の分母である許容繰返し回数が1.2倍~3.4倍ほどになり疲れ累積係数 UF が小さく算出される。

基準地震動 S_{s-1} 及び S_{s-2} にて疲労評価を実施した場合、(2)より疲れ累積係数 UF の分子である等価繰返し回数が0.2~0.8倍ほどになり疲れ累積係数 UF が小さく算出される。また、この保守性の概要を図 補6.3に示す。

以上より、今回工認においては、許容繰返し回数が厳しくなる地震動は基準地震動 S_{s-1} 及び S_{s-2} であるが、一律に設定する等価繰返し回数は、等価繰返し回数の観点で支配的となる S_{s-3} 系による回数を基に定めていることから保守的な設定と言える。



: $UF = \frac{N_e}{N_0} \leq 1.0$ となり、疲労評価が許容値を満足する領域

: 今回工認の疲労評価手法 $UF = \frac{N_e}{N_0}$

: 基準地震動 S_s-1 及び S_s-2 にて疲労評価を行った場合
(X: 許容繰返し回数は今回工認の疲労評価手法とほぼ同等。
Y: 等価繰返し回数は今回工認の疲労評価手法の0.2~0.8倍ほど)

$$UF_{(S_s-1 \cdot 2)} = \frac{N_e (S_s-1 \cdot 2)}{N_0 (S_s-1 \cdot 2)} = \frac{(0.2 \sim 0.8) \times N_e}{N_0} = (0.2 \sim 0.8) \times UF$$

: 基準地震動 S_s-3 にて疲労評価を行った場合
(X: 許容繰返し回数は今回工認の疲労評価手法の1.2~3.4倍ほど。
Y: 等価繰返し回数は今回工認の疲労評価手法とほぼ同等)

$$UF_{(S_s-3)} = \frac{N_e (S_s-3)}{N_0 (S_s-3)} = \frac{N_e}{(1.2 \sim 3.4) \times N_0} = \frac{1}{(1.2 \sim 3.4)} \times \frac{N_e}{N_0} = (0.3 \sim 0.9) \times UF$$

図 補6. 3 地震動の特性を踏まえた保守性の概要図

5. 一律に設定する等価繰返し回数を用いる疲労評価に含まれる保守性について
 一律に設定する等価繰返し回数を用いる疲労評価対象設備のうち疲れ累積係数UFが大きく疲労評価が厳しい設備について、個別に設定する等価繰返し回数を設定することにより、十分な裕度を有しているか確認する。

5. 1 検討対象設備の抽出

今回工認の疲労評価対象設備のうち、熱+地震及び地震による疲れ累積係数UFが最も大きくなる疲労評価対象設備を代表として抽出する。表補6.6のとおり、熱+地震による疲れ累積係数では残留熱除去系配管(RHR-PD-2)、及び地震による疲れ累積係数では所内温水系配管(HWH-R2F-5)が最大となる。

表 補6.6 疲れ累積係数が最大となる疲労評価対象設備

ケース	設備名称	一律に設定する等価繰返し回数	疲れ累積係数UF
1. 熱+地震で最大のケース	残留熱除去系配管 (RHR-PD-2)	200回	U+US _s 0.6413
			(US _s 0.6350)
2. 地震で最大のケース	所内温水系配管 (HWH-R2F-5)		US _s 0.9091

5. 2 個別に設定する等価繰返し回数の設定による疲れ累積係数UFの再計算
 抽出した疲労評価対象設備について、個別に設定する等価繰返し回数を設定し、疲れ累積係数UFの再計算を行った結果を表補6.7に示す。

表 補6.7 疲れ累積係数UFの再計算結果

ケース	設備名称	個別に設定する等価繰返し回数	疲れ累積係数UF [※]
1. 熱+地震で最大のケース	残留熱除去系配管 (RHR-PD-2)	160回	U+US _s 0.5143
			(US _s 0.5080)
2. 地震で最大のケース	所内温水系配管 (HWH-R2F-5)	80回	US _s 0.3637

※ 疲れ累積係数UFの再計算は、再計算前の疲れ累積係数UFと一律に設定する等価繰返し回数200回と個別に設定する回数の比率を用いて算出した。

表 補 6. 7 に示す通り，代表として抽出した疲労評価対象設備の工認耐震計算書に記載される疲れ累積係数 $U F$ は許容値 1 に対して余裕が少ないが，等価繰返し回数を個別に設定して疲れ累積係数 $U F$ を再計算すると許容値 1 に対して十分な裕度を有していることを確認した。

6. まとめ

柏崎刈羽 7 号機の等価繰返し回数算出パラメータについて先行プラントと比較し，弾性設計用地震動 $S d$ の回数を除きほぼ同等であることを確認した。

また，柏崎刈羽 7 号機の地震動の特性を踏まえた保守性を整理し，疲労評価の観点から許容繰返し回数及び等価繰返し回数が保守的な設定となっていることを確認した。

加えて，今回工認において疲れ累積係数 $U F$ が最大となる疲労評価対象設備について十分な裕度を有していることを確認した。

以上より，柏崎刈羽 7 号機における等価繰返し回数の設定は，十分な保守性を有していると考えられる。

補足7 ピーク応力の大きさと等価繰返し回数について

「昭和55年度 耐震設計の標準化に関する調査報告書」にてピーク応力の設定値が高くなるほど回数が大きくなる傾向となることが確認されている。本資料ではピーク応力を大きく設定することで、等価繰返し回数が大きくなり、保守的な設定になることを簡単な例により説明する。

例として、図 補7.1 に示す応答波形を仮定する。

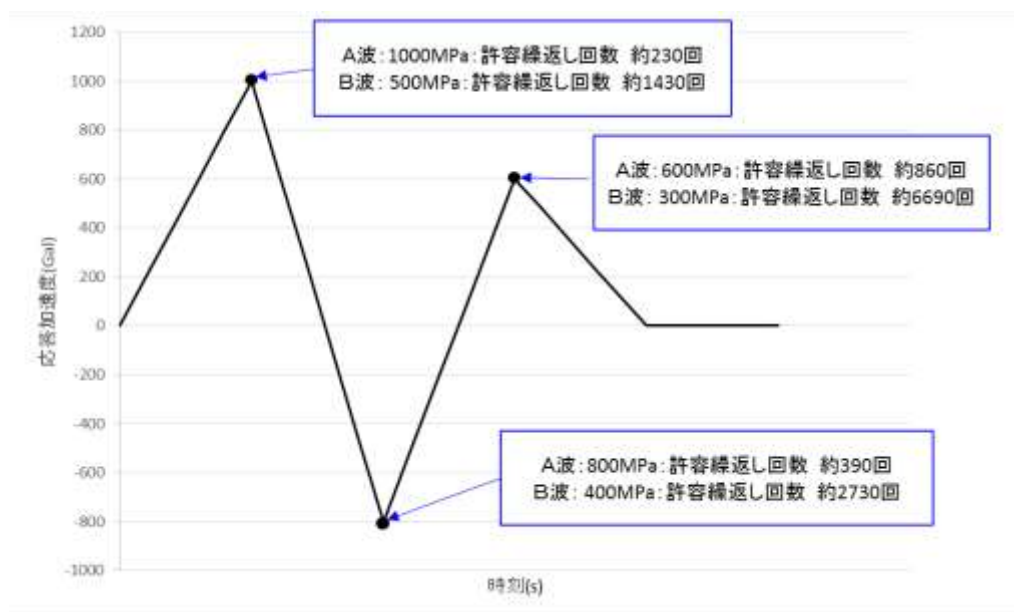
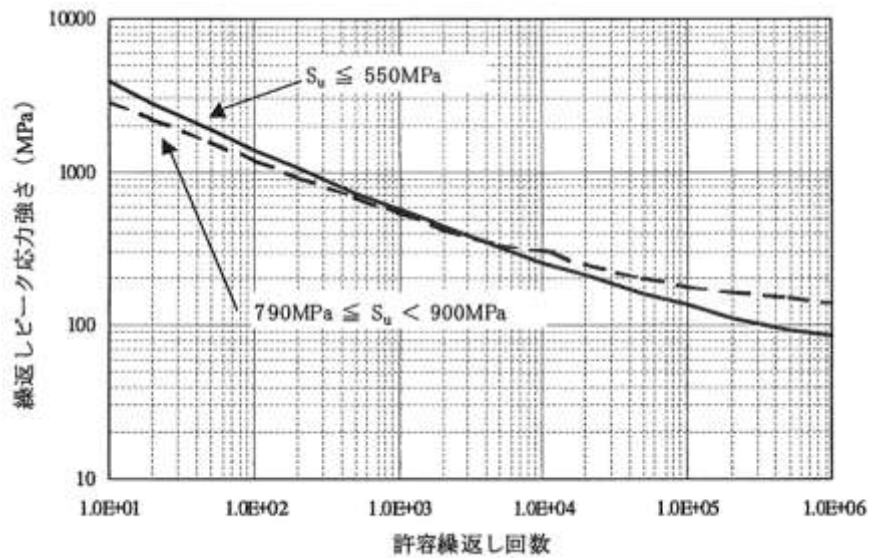


図 補7.1 1質点系の時刻歴応答

また、大小2つの応答波は同じ波形であるが、応答振幅が2対1の関係であると仮定し、以下に示す最大ピーク応力を仮定し、それぞれの等価繰返し回数を算出する。なお、図 補7.1の各ピーク応力は1質点系の応答波形に線形比例で設定した。

- ・ A波 : 地震動に対する最大ピーク応力 1000MPa
- ・ B波 : 地震動に対する最大ピーク応力 500MPa

各ピークにおける許容繰返し回数は、図 補7.2に示す炭素鋼の設計疲労線図に算出し、その結果を図 補7.1に併せて示す。



(J S M E 設計・建設規格より抜粋)

図 補 7. 2 設計疲労線図

これにより算出した等価繰返し回数は以下の関係となる。

$$A波の地震動の等価繰返し回数 : \left[\frac{1}{230} + \frac{1}{390} + \frac{1}{860} \right] \times 230 = 1.86$$

$$B波の地震動の等価繰返し回数 : \left[\frac{1}{1430} + \frac{1}{2730} + \frac{1}{6990} \right] \times 1430 = 1.74$$

上記の結果を比較すると、各ピーク応力における許容繰返し回数の差が等価繰返し回数に影響するため、A波の等価繰返し回数が大きくなる事が分かる。その許容繰返し回数の差は、図 補 7. 2 に示すとおり、ピーク応力が小さくなるにつれて、設計疲労線図の勾配が緩やかになっているため、ピーク応力が低減するほど許容繰返し回数の増加の割合が大きくなっていることによるものである。

以上より、ピーク応力を大きく設定することは、等価繰返し回数が大きく算出されるため、保守的な設定であると言える。

補足8 等価繰返し回数の算出に用いる地震動の考え方について

1. はじめに

今回工認の等価繰返し回数の算出に用いる地震動は、基準地震動 S_s と NCO に加え、弾性設計用地震動 S_d を $1/3$ 倍した地震動5回分を追加している。本資料ではこの考え方を示す。

2. 米国における等価繰返し回数の考え方について

米国における等価繰返し回数設定に係る基準要求を補足8 別紙1に示す。補足8 別紙1に示すとおり、 $NUREG-0800$ に定められた **Standard Review Plan 3.7.3 Rev.4**では、プラント供用期間中に SSE^{*1} 地震1回+ OBE^{*2} 地震5回を想定した疲労評価を行うよう要求がある。地震1回あたりの繰返し回数としては、最低10回を考慮するよう要求がある（ OBE 地震が SSE 地震の $1/3$ 以下に設定される場合は、 OBE 地震による設計評価は不要となる。この場合、疲労評価では SSE 地震1回+ OBE 地震5回の代わりにプラント供用期間中に想定される地震として SSE 地震2回としてもよい。ここでの疲労評価における SSE 地震2回は、 SSE 地震1回+ OBE 地震5回と疲れ累積係数が等価であると考えられる。 SSE 地震1回で最大振幅が10回繰返すものとする。）。

※1 SSE (Safe-shutdown earthquake ground motion)は、その事象の発生時ならび発生後において、原子力プラントが安全停止状態を達成し、維持することが可能とする地震レベル。安全設計に係る SSC (建屋、システム、機器)は SSE により機能喪失が生じないよう設計することが求められる。

※2 OBE (Operating basis earthquake ground motion) は、プラント運転中に起こりうる地震レベル。 OBE 地震を超過する地震発生時には、プラント停止要求がある。

3. 今回工認の等価繰返し回数の算出に用いる地震動について

今回工認における等価繰返し回数の保守性の確保にあたり、基準地震動 S_s に対して地震動を追加する。ここで追加する地震動として、2.の考え方を参考に OBE 地震相当の地震動5回分を考える。

OBE 地震に相当する地震動は、 $JEAG4601$ ・補-1984にある地震動 S_0 (地震動が発生した後の運転継続の観点から決められた地震動)が相当すると考えられる(補足8 別紙2参照)。 $JEAG4601$ ・補-1984においては、この地震動 S_0 は S_1 地震動の $1/3$ 倍程度の大きさとされていることから、 S_1 地震

動を弾性設計用地震動 S d に読替え弾性設計用地震動 S d を 1/3 倍した地震動を用いる。なお、表 8. 2-1 のとおり弾性設計用地震動 S d の 1/3 倍は、原子炉非常停止信号である地震加速度大の設定値とほぼ同等となっている。

表 補 8. 2-1 地震加速度大設定値及び弾性設計用地震動 S d の 1/3 倍の比較

T.M.S.L. (m)	地震加速度大 設定値(gal)		(1/3)× S d 最大応答加速度 (gal)	
	水平	鉛直	水平	鉛直
23.500	185 [*]		177	151
-8.200	120 [*]	100 [*]	112	135

※：「柏崎刈羽第 7 号機工事計画認可申請書 4. 計測制御系統施設
6 原子炉非常停止信号，原子炉非常停止に要する信号及び原子炉非常停止信号を発信させない条件」より引用

以上より、米国 SRP の考え方（SSE 地震：1 回分 + OBE 地震 5 回分を考慮して疲労評価）を参考として、基準地震動 S s を 1 回分と既に経験した NCO 地震動に対し、弾性設計用地震動 S d の 1/3 倍の地震動を 5 回分考慮した地震動を用いて、今回工認の等価繰返し回数を設定する。

等価繰返し回数に係る米国基準の整理

米国基準	地震発生回数及び応力振幅回数に関する考え方	
	要求	解釈
<p>10CFR50 Appendix S 米国連邦法であり、行政法の一つ。 10CFRは、エネルギー行政に係る事項を定めている。</p>	<p>①SSE地震は、その事象の発生時ならびに発生後において、原子力プラントが安全停止に係るSSCs（建屋、システム、機器）はSSEにより機能喪失が生じないように設計すること。</p> <p>②OBE地震は、プラント運転中に起こりうる地震レベル。OBE地震を超過する地震事象の発生時には、プラント停止要求がある。</p>	<p>・SSE地震、OBE地震が定義されているが、その発生回数の規定はない。</p> <p>・OBE地震では、プラントは運転継続する。(②)</p>
<p>SRP3.7.3 NUREG-0800によって定められるNRC許認可活動における審査方針を示したもの。 当該章は、機器設計について定める章。</p>	<p>①プラント供用期間中、少なくとも“SSE地震1回+OBE地震5回”の発生を想定する規定がある。地震1回あたりの繰返し回数としては、最低10回を考慮する。</p>	<p>・地震事象としてSSE地震時1回と、OBE地震5回を考慮した疲労評価の実施要求がある。(①)</p>
<p>ASME</p>	<p>①ASMEは Design Specification で与えられた設計条件に従い、設計・評価を行う手法を定めた民間規定であることから、地震回数、地震強度に対する要求は無い。</p> <p>②一方、Service Level A,Bの過渡事象に対する疲労評価を実施し、疲れ累積係数UFが1以下となることを求めている。</p>	<p>・OBE地震は Service Level Bに区分される(SRP3.9.3)ことから、他の過渡事象と同列に並べて、疲労評価を実施する。</p>

電氣技術指針
原子力編

原子力発電所耐震設計技術指針

重要度分類・許容応力編

JEAG 4601・補-1984

Ⅳ 地震動 S_0 に対する耐震評価

1. 概 要

発電用原子力設備の耐震 A_0 及び A クラスの機器、配管の耐震設計においては、耐震設計審査指針に規定された基準地震動 S_1 、 S_2 に加え、地震動が発生した後の運転継続の観点から決められた地震動 S_0 の導入が原子力安全評価特別委員会許容応力分科会にて提案された。なお、本件に関しては、今後とも検討が必要と考えられる。

ここで、地震動 S_0 の大きさとしては、これを上回らない地震動が発生した場合であっても検査することなく運転継続できる値を設定するとしている。

また、地震動 S_0 に対する耐震評価が必要な場合の許容限界としては、これ以下の地震動が発生しても原子炉を停止することなく運転を継続してゆくこととなるので、告示で規定された運転状態Ⅰ、Ⅱに対する許容応力を限度とすることを原則としている。

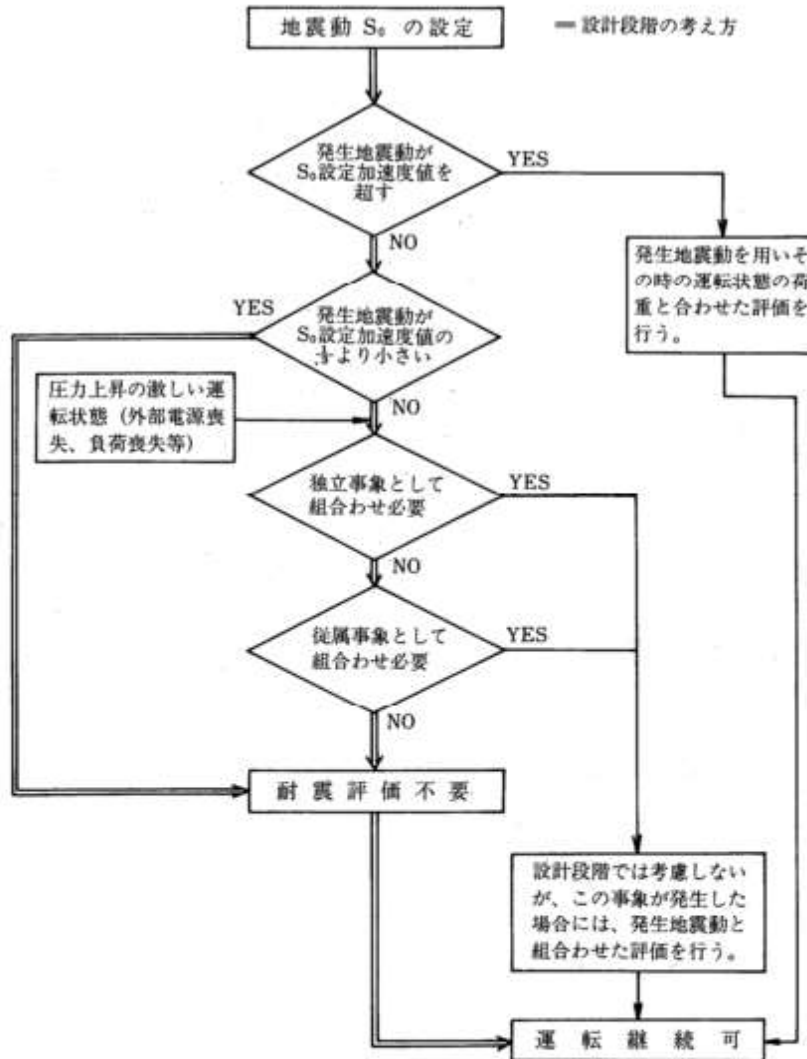
本資料は、この地震動 S_0 についての考え方をまとめたものであり、その大きさを適切な大きさに決めることにより、地震動 S_0 と他の厳しい運転状態の荷重の組合わさった事象が、実際に発生した場合のみに限り評価を行うことをあらかじめ決めておけば、設計段階においての地震動 S_0 に対する評価は原則として不要であることを述べている。

次の2項以降にその詳細を示す。

2. 地震動 S_0 に対する耐震評価の考え方

地震動 S_0 については図Ⅳ-1に示すとおりその大きさが次のように決められる場合には設計段階においては耐震評価は原則として不要となる。

図IV-1 地震動 S_0 に対する検討



(1) 地震動 S_0 の大きさ

地震動 S_0 の加速度値は、建築基準法施行令(昭和34年政令第344号)に示された水平震度(水平震度 C_n と略記する)に相当する基準地震動の加速度値と設計に用いる同一地点における複数の基準地震動 S_1 のうち最も大きい最大加速度の $1/n$ の値の小さい方の値とする。

n は今後とも検討が必要であるが、3.に示すように現在の耐震設計上の余裕から考えて、 $n = 3$ とする。

(2) 理 由

- a. 地震動 S_0 の加速度値を水平震度 C_H に相当する基準地震動の加速度値以下と決めれば従属事象として外部電源喪失、負荷喪失等は一応起りえないと考えられる。

(添付1参照)

- b. 地震動 S_0 を上記の値より大きい値に決めても水平震度 C_H 相当の地震の発生時には、プラントの安全機能の確認を要求される可能性が大きい。
- c. また、地震動 S_0 の加速度値を基準地震動 S_1 の最大加速度値の $1/n$ 以下としなければ、地震動 S_0 による応力が最高使用圧力と運転状態(圧力上昇の激しい運転状態を除く)の圧力による応力状態の差の裕度の中に入り、かつ疲労についても余裕があるという3の説明が成り立たない。

(3) 実際の地震動 S_0 の加速度値の決め方に関する考え方

サイトにおける水平震度 C_H 相当の基準地震動は、50~60gal程度と考えられる。また、最大加速度値が比較的小さいサイトでは基準地震動 S_1 として180galとなるが、 $n=3$ の場合でも $S_0=180/3=60$ galとなる。これから地震動 S_0 の加速度値として全国一律に基準地震動として60gal等を決めておくことが望ましい。

3. 耐震A、及びAクラス機器の地震動 S_0 に対する強度の検討

(1) 序

本章では、耐震A、及びAクラス機器に地震動 S_0 による荷重が加わる場合に発生する応力を基準地震動 S_1 、 S_2 による荷重が加わった場合のものと比較検討することにより、地震動 S_0 を基準地震動 S_1 の何分の1かのある程度以下に適切に設定すれば、基準地震動 S_1 、 S_2 に対し耐震設計を行っている機器では地震動 S_0 については設計段階における評価は不要であることを示している。

(2) 1次応力について

a. 耐圧部の場合

地震動 S_0 は、基準地震動 S_1 若しくは基準地震動 S_2 と異なり、プラント寿命中に、幾度か生じると考えられる地震動であり、したがって、通常運転時に地震動 S_0 が生じた場合の応力は、設計条件の許容応力以下であることが望ましいわけであるが、それでも、地震動 S_0 による応力が常に加わっているわけではない。

一方、最高使用圧力は、耐圧部材にとって、まず第一に考慮しなければならない荷重であり、これによって生じる応力は設計条件の許容応力以下であることが要求される。しかしながら、最高使用圧力が生ずるのは短時間の過渡状態などのごく一時期のみであり、通常運転時の圧力は、最高使用圧力より低い値となっているのがふつうである。

したがって、地震動 S_0 による応力、最高使用圧力による応力、及び通常運転圧力による応力について、次のような二つの組合せを検討すればよいと考えられる。

(ケース1) 最高使用圧力による応力 \leq 設計条件の許容応力

(ケース2) 通常運転圧力による応力

$$+ \text{地震動 } S_0 \text{ による応力} \leq \text{設計条件の許容応力}$$

したがって、次式が満されるならば、地震動 S_0 は考慮しなくてもよいといえることができる。

$$\text{最高使用圧力による応力} \geq \text{通常運転圧力による応力} + \text{地震動 } S_0 \text{ による応力} \dots\dots\dots \text{①}$$

以下の検討においては、1次一般膜応力によって1次応力を代表させ、また、板厚方向の応力は無視し、円周方向応力 σ_t 、軸方向応力 σ_l のみを考え、以下の記号を用いる。

- | | | |
|--|------------------|-----|
| P_D = 最高使用圧力 (kg/md) | R = 容器の半径 (mm) | } ② |
| P^* = 通常運転時圧力 (kg/md) | t = 容器の板厚 (mm) | |
| σ_{t1} = P_D による円周方向応力 (kg/md) | | |
| σ_{t2} = P^* による円周方向応力 (kg/md) | | |
| σ_{l1} = P_D による軸方向応力 (kg/md) | | |
| σ_{l2} = P^* による軸方向応力 (kg/md) | | |
| σ_{l3} = 地震動 S_0 による軸方向応力 (kg/md) | | |

(a) 円筒形の耐圧部

①式を②の記号を用いて書き直すと、

$$\sigma_{t1} \geq \sigma_{l2} + \sigma_{l3} \dots\dots\dots \text{③}$$

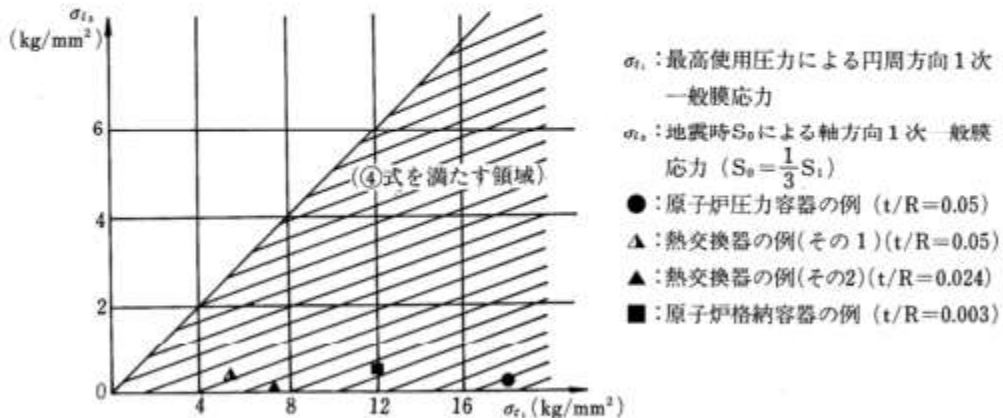
当該容器の1次一般膜応力について③式が満されていれば地震動 S_0 の考慮は不要となる。

さらに、 $P_D = P^*$ と仮定しても③式において $\sigma_{l2} = 0.5 \sigma_{t1}$ となるので、③式は

$$\sigma_{t1} \geq 2 \sigma_{l3} \dots\dots\dots \text{④}$$

④式を図IV-2に示す。

図IV-2 円筒形の耐圧部について地震動 S_0 考慮の要否を検討する図



図IV-2には、実際の原子力発電用機器のいくつかの例が示されている。

この例から明らかなように実際には、④式は、十分な余裕をもって満されている。また、薄肉の(t/Rの小さな)機器ほど④式に対する制限が厳しい傾向がある。

したがって、あるプラントの耐震A_s及びAクラス機器について地震動S₀を設計上考慮しなくてもよいことを示すには、そのプラントの耐震A_s及びAクラス機器のうち、t/Rの小さな順に2、3の機器について、図IV-2の斜線部にあることを確認すれば十分であると考えられる。

(b) 球形の耐圧部

①式を②の記号を用いて書き直すと、

$$\sigma_{t1} \geq \sigma_{i2} + \sigma_{i3} \dots\dots\dots ⑤$$

原子力発電所において、球形の耐圧部に大きな地震荷重が加わる場合は極めてまれである。したがって、球形の耐圧部に大きな地震荷重が加わる場合には、その機器について、⑤式の成立をチェックすればよい。

b. 非耐圧部の場合

非耐圧部においては耐震設計によって板厚が決定される場合が多い。この場合には、I_AとⅢ_ASの1次応力の許容値の比率を考えてみる必要がある。表IV-1はいくつかの機器の代表的な材料について、この比率を検討したものである。

表IV-1 地震動S₀に対する許容値(設計条件・I_A)と
基準地震動S₁に対する許容値(Ⅲ_AS)の比較

	材 質	I _A の1次応力の 許容値 ①	Ⅲ _A Sの1次応力の許容値 ②	比 率 ②/①
第1種容器	S Q V 2 A	Pm : S _m = 18.8	Pm : Min (S _y , $\frac{2}{3}$ S _u) = 35.0	1.86
第2種容器	S G V 49	Pm : S = 13.4	Pm : Min (S _y , 0.6 S _u) = 27.0	2.01
第3種容器	S T P L 39	Pm : S = 9.8	Pm : Min (S _y , 0.6 S _u) = 21.0	2.14
第1種支持 構 造 物	—	f _t	1.5 f _t	1.5

表IV-1から明らかなように、基準地震動S₁に対する1次応力の許容値は、地震動S₀に対する許容値のせいぜい2倍強であるため、基準地震動S₁の大きさが地震動S₀の大きさの3倍以上であるとすると基準地震動S₁が設計に対して支配的である。

(3) 疲労について

a. 疲労については、応力値の違いによる許容繰り返し回数の差と共に、地震動そのものの回数の差も考えなければならない。

表IV-2は、告示の設計疲労線図をもとに作成したものであるが、地震動S₀が、基準地震動S₁の $\frac{1}{3}$ 程度であれば、基準地震動S₁による応力(これは、1次+2次+ピーク応

力値で片振幅40kg/mdにも達するのは極めてまれなケースである。)に対する許容繰返し回数は、地震動S₀に対する許容繰返し回数に対し、はるかに支配的なことがわかる。

表IV-2 基準地震動S₁地震動S₀による応力の許容繰返し回数の比較
(基準地震動S₁:地震動S₀=3:1のとき)

ケース	基準地震動S ₁		地震動S ₀		$\frac{N_0}{N_1}$	
	応力 (kg/md)	許容繰返し回数, N ₁	応力 (kg/md)	許容繰返し回数, N ₀		
炭素鋼 低合金鋼	1	100	2×10^2	33.3	5×10^3	25
	2	80	4×10^2	36.7	9×10^3	23
	3	60	9×10^2	20	2.8×10^4	31
	4	40	2.5×10^3	13.3	10^5	40
オーステナイト系 ステンレス鋼	5	100	4×10^2	33.3	2.8×10^4	70
	6	80	8.5×10^2	26.7	8×10^4	94
	7	60	2.2×10^3	20	5×10^5	227
	8	40	1.3×10^4	13.3	∞	∞

参考 (基準地震動S₁:地震動S₀=5:1のとき)

ケース	基準地震動S ₁		地震動S ₀		$\frac{N_0}{N_1}$	
	応力 (kg/md)	許容繰返し回数, N ₁	応力 (kg/md)	許容繰返し回数, N ₀		
炭素鋼 低合金鋼	1	100	2×10^2	20	2.8×10^4	140
	2	80	4×10^2	16	7×10^4	175
	3	60	9×10^2	12	2×10^5	222
	4	40	2.5×10^3	8	10^6	400
オーステナイト系 ステンレス鋼	5	100	4×10^2	20	5×10^5	1250
	6	80	8.5×10^2	16	∞	∞
	7	60	2.2×10^3	12	∞	∞
	8	40	1.3×10^4	8	∞	∞

注: "∞"は、告示の設計疲労線図では算定できないことを示す。

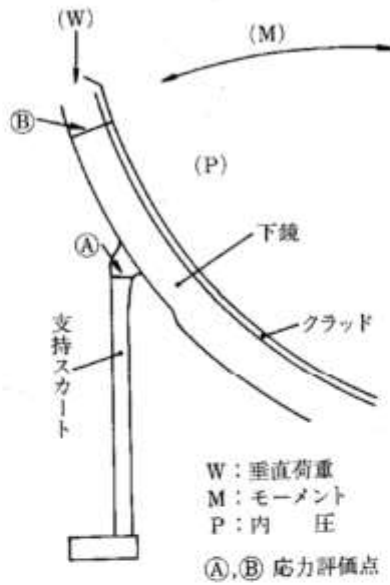
b. 地震動S₀による荷重と過渡状態の応力との重ね合わせの影響

aにおいては、地震動S₀を単独に考慮した場合について述べたが、ここでは過渡状態と組合せる場合について述べる。

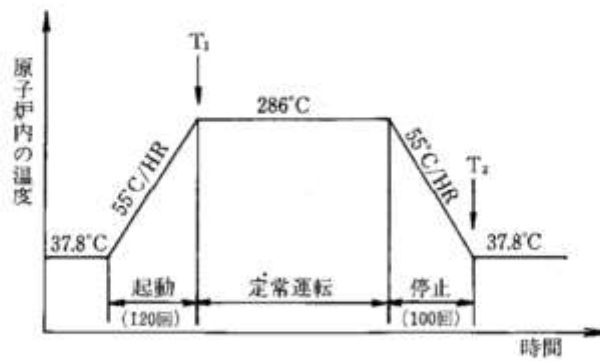
代表例として、原子炉圧力容器スカート部を考える。

図IV-3にスカート部の図を、図IV-4に考慮した過渡状態を示す。

図IV-3 支持スカート及び下鏡



図IV-4 熱サイクル (T_1 , T_2 : 熱応力計算をする時間)



表IV-3に応力計算結果を示す。ただし、表IV-3の中の③項は、基準地震動 S_1 による応力である。表IV-3から、過渡状態における応力は、熱応力が支配的であることがわかる。

今、表IV-3を参考にして、次のようなケースを考える。

(a) 地震を除いた応力変動値……… 0～30 kg/cm²……… 120回

(b) (a)に地震動 S_0 を加えた応力変動値 …… 0～31 kg/cm²……… 120回

ケース(a)に対する許容くり返し回数とケース(b)に対する許容くり返し回数にはほとんど差はなく、共に 5×10^4 回程度である。

したがって、過渡状態と地震動 S_0 を重ね合わせた場合にも、一般には地震動 S_0 の影響は小さいと考えられる。

表IV-3 応力計算結果

(単位：kg/cm²)

応力 評価点 (F)	機械的荷重による応力					熱荷重による応力		(1次+2次応力)合計			
	P	W	M	合計	平均	T ₁	T ₂	C ₁ =T ₁ +P+W+M	C ₂ =T ₂ +W+M		
	①	②	③	④=①+②+③	⑤	⑥	⑦	⑧=④+⑥	⑨=②+③+⑦		
④ 内側	σ_t	4.0	-0.2	-0.6	3.2	$\sigma_t = 4.5$ $\sigma_l = -3.9$ $\sigma_r = 0.0$	-0.8	-3.8	-2.4	-4.5	
	σ_l	-4.3	-0.8	-5.0	-10.1		-28.0	11.0	-38.1	5.2	
	σ_r	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	
	④ 外側	σ_t	6.0	-0.2	0.6		6.4	17.0	-9.8	23.4	-9.4
		σ_l	4.3	-0.9	-1.0		2.4	28.0	-11.0	30.4	-12.9
		σ_r	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
⑤ 内側	σ_t	12.1	-0.1	-0.2	11.8	$\sigma_t = 11.8$ $\sigma_l = 11.2$ $\sigma_r = -0.5$	-2.0	2.0	9.8	1.7	
	σ_l	12.1	-0.4	-0.5	11.2		-2.0	2.0	9.2	1.1	
	σ_r	-0.9	0.0	0.0	-0.9		0.0	0.0	-0.9	0.0	
	⑤ 外側	σ_t	12.0	-0.1	-0.2		11.7	2.0	-2.0	13.7	-2.3
		σ_l	12.0	-0.4	-0.5		11.1	2.0	-2.0	13.1	-2.9
		σ_r	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.1	0.0

注： σ_t ：円周方向応力

σ_l ：軸方向応力

σ_r ：半径方向応力